

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.
О.В. Підтиченко, магістр
В.В. Томашевський, магістр
В.А. Яновський, доц.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ІЄРАРХІЧНА СТРУКТУРА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТОСУВАНЬ СИСТЕМИ УСПО

Запропоновано формалізований опис конструкцій верстатних пристосувань (ВП) системи УСПО – формалізовану модель конструкції ВП та її конструктивних елементів, що базується на структурно-функціональному підході до опису конструкцій ВП на різних рівнях ієрархії елементів.

Розробка системи автоматизованого проектування (САПР) конструкцій верстатних пристосувань (КВП), що проектуються та агрегуються на базі комплектів стандартизованих деталей та складальних одиниць системи універсально-складального переналагоджуваного оснащення (УСПО), є актуальною проблемою автоматизації технологічної підготовки виробництва [1, 5, 8].

Вирішення цієї задачі потребує розробки двох типів формалізованих моделей (ФМ) [3]:

- формалізованої моделі окремих складових КВП, з яких конструється пристосування (стандартизовані деталі, складальні одиниці комплексу УСПО та заготовка, що оброблюється);
- формалізованої моделі КВП системи УСПО в цілому.

Задачу автоматизації проектування УСПО доцільно розглядати на прикладі певного виду комплектів, наприклад універсально-складальних пристосувань (УСП), які є одним із багатьох видів універсально-складального переналагоджуваного оснащення (у широкому розумінні цього поняття). Комплекти УСП є одними з найзручніших видів УСПО для розгляду питання формалізації; причому, принцип, покладений в основу формалізованої моделі УСП, залишиться вірним для всієї сукупності видів УСПО в силу єдності їх принципів формування конструкцій [4, 5].

Конструкція пристосування як складна структура формується з базових елементів нижчих структурних рівнів – елементів конструкції УСПО [8]. Формалізація КВП як складної структури пов'язана із введенням поняття конструктивний елемент [1, 2, 6, 7, 10, 11, 12]. Поняття конструктивного елемента на різних ієрархічних рівнях структури КВП УСПО варто розрізняти.

Деталі та складальні одиниці комплексу пристосування, а також оснащувану деталь-заготовку як невід'ємну частину конструкції пристосування будемо називати терміном конструктивний елемент пристосування (КЕП), щоб підкреслити, що ці конструктивні елементи формують конструкцію пристосування і є для пристосування базовими елементами. Для того, щоб відрізнити від останніх конструктивні елементи, що є їх частинами, під терміном конструктивний елемент деталі (КЕД) будемо розуміти конструктивні елементи, що утворюють деталі-елементи комплексу УСПО та оснащувану деталь-заготовку і є для них базовими елементами. Для того щоб виділити серед конструктивних елементів пристосування деталь-заготовку як таку, що має особливе, цільове призначення в конструкції та а процесі проектування, її – деталь-заготовку, що оброблюється, – назвемо цільовий елемент конструкції пристосування (ЦЕК). З'єднувальні (або приєднуючі) конструктивні елементи деталей-елементів комплексу, що утворюють особливості форми деталей і дозволяють з'єднувати ці деталі-елементи комплексу між собою, назвемо елементи форми. Отже, елемент форми (ЕФ) – це геометричний елемент – конструктивний елемент деталі, розташований на поверхні КЕП, що характеризує її (поверхні) здатність приєднувати інші КЕП за допомогою кріпильних та встановлююче-направляючих деталей комплексу (болтів, шпонок, штирів, пальців, шпильок, гайок тощо). Зокрема до ЕФ УСПО відносяться різноманітні отвори та пази під шпонок.

В процесі формалізації КВП розглядається як багатокомпонентна ієрархічна структура, на найнижчому рівні якої знаходяться геометричні елементи (відрізки прямих, дуги кіл, точки

тощо), а більш високі рівні містять в своєму складі поверхні, групи поверхонь, стандартизовані деталі, складальні одиниці, функціональні групи елементів.

Представляти всі ці рівні ієрархії кожним окремим об'єктом не є доцільним, а також з огляду на необхідність представлення формалізованої моделі КВП системи УСПО у вигляді певних структур даних, представляється доцільним за об'єкти формалізованої моделі обрати деякі основні структурні елементи даної ієрархії, а інші елементи будуть виражатися у вигляді відповідних відношень – атрибутів базових об'єктів.

До базових відносяться об'єкти, які на даному рівні проектування недоцільно розділяти на більш дрібні складові частини. За допомогою таких об'єктів (примітивів), типових з'єднань об'єктів у функціональні групи (макроелементи або складальні одиниці) та їх атрибутів (властивостей) представляються структури складних технічних систем на різних рівнях ієрархії [9].

Тому за основні (базові) об'єкти розробленої ФМ КВП прийняті:

- конструктивні елементи пристосування (множина КЕП) – стандартизовані деталі комплексу УСПО, а також заготовки, що обробляються в пристосуваннях;
- конструктивні елементи деталі (множина КЕД) – поверхні (грані), контури, що обмежують поверхні, приєднуючі елементи на поверхнях.

Таким чином, конструкція верстатного пристосування – множина об'єктів, між якими встановлені певні відношення (геометричні, конструкційні, функціональні) [3]. Об'єктами конструкції є КЕП, а відношення – це атрибути КЕП.

Основними об'єктами КЕД є поверхні та контури, що представляють собою каркасно-поверхневу модель КЕП (КПМ КЕП).

В процесі проектування конструкцій УСПО враховується значна множина факторів, в тому числі певні геометричні обмеження. Представляється доцільним описати геометричні обмеження, що накладаються на конструкції УСПО, як особливі (абстрактні) просторові об'єкти подібно до КЕП (реальних об'єктів моделі). Тоді врахування геометричних обмежень зводиться до задачі аналізу на геометричну сумісність цих особливих об'єктів та КЕП, рівно як КЕП між собою. Сукупність реальних об'єктів – КЕП (елементів конструкції УСПО і деталі-заготовки) та особливих об'єктів утворюють загальну множину об'єктів, що має умовну назву простір проектування (ПП). Тоді кожен з об'єктів, що утворюють ПП, є об'єктом простору проектування (ОПП).

Конструкція пристосування представляється як сукупність об'єктів – КЕП, внутрішня структура яких не змінюється в процесі проектування.

Таким чином, задача формалізації конструкцій пристосувань системи УСПО зводиться до розробки двох моделей:

- ФМ об'єктів ПП;
- ФМ власне ПП, як множини взаємопов'язаних ОПП. ФМ ПП виражається атрибутами об'єктів ПП.

Оскільки ФМ ПП та ФМ КЕП виражаються певними атрибутами в одних й тих самих структурах даних, то ці дві моделі становлять єдине ціле – ФМ УСПО.

Для розрізнення того, що моделюється в певному випадку, – КЕП або конструкція пристосування, приймається, що ФМ КЕП (та ОПП взагалі) становить рівень моделювання об'єктів ПП, а ФМ ПП – рівень моделювання ПП.

ФМ КВП розглядається на рівні моделювання ПП і реалізуються у вигляді атрибутів об'єктів конструкції – структурно-геометричних властивостей конструктивних елементів, що знаходяться на різних РІС. Ці властивості виражають взаємозв'язки КЕП, що виникають між ними під час взаємодії. Під взаємозв'язком конструктивних елементів (КЕП чи КЕД – відповідно до РІС, про який йде мова) розуміється відношення (геометричне, конструкційне та функціональне), що існує між цими конструктивними елементами як об'єктами відповідного РІС ФМ УСПО для утворення структури об'єкта вищого РІС (для КЕД – конструктивного елемента пристосування, для КЕП – конструкції пристосування). Взаємодія КЕП – відношення між двома КЕП (геометричне, конструкційне та функціональне), що з'єднує їх у КВП.

Отже, в прийнятій ФМ КВП є наступні рівні ієрархії структури (РІС) [10], що представляються відповідними об'єктами:

1. Простір проектування – множина ОПП.
2. Об'єкти ПП.

3. Конструктивні елементи деталі:

- 3.1. Опуклі частини.
- 3.2. Поверхні.
- 3.3. Контури.
- 3.4. Граничні точки контурів.

4. Елементи форми поверхонь (КЕД, що підпорядковуються поверхням).

Оскільки детальний опис елементів форм, що визначає характеристики КЕП є дуже складним, то в основу розробленої ФМ КЕП покладено так званий функціональний підхід для опису геометричних особливостей поверхонь, що ґрунтується на здатності конструктивного елементу кожного РІС виконувати певну функцію на своєму рівні. Тобто вся геометрія форми поверхонь представлена у вигляді основної геометрії, що є апроксимованим описом форми КЕП і становить геометричні атрибути поверхонь, та функціональних властивостей поверхонь, що відтворюють геометрію елементів форми поверхонь, здатних брати участь у формуванні взаємозв'язків між КЕП. Інакше кажучи, складна геометрія поверхонь представлена апроксимованою (основною) геометрією поверхонь та функціональними характеристиками поверхонь, які відтворюють геометрією об'єктів більш низького РІС.

Основою геометрії КЕП є поверхні (або криволінійні грані), що обмежують внутрішній простір даного ОПП і є елементами взаємодії з іншими КЕП. Опис геометрії поверхонь представляється дуже важливим, оскільки для реалізації автоматизованого проектування КВП УС-ПО необхідно вирішувати ряд геометричних задач, серед яких врахування умов неперетинання ОПП та аналіз КЕП на дотик. Дотик КЕП є передумовою аналізу КЕП на функціональну та геометричну приєднуваність.

Розв'язок задач усунення взаємоперетину ОПП базується на визначенні належності певної точки ПП певній просторовій області – внутрішньому простору КЕП. Останнє розв'язується за допомогою застосування до опису ОПП математичного апарату R-функції [13]. Застосування останнього передбачає представлення кожного ОПП об'єднанням опуклих просторових частин, кожна з яких є перетином півпросторів, відокремлених поверхнями (гранями) ОПП.

Загальна формалізована структура властивостей та характеристик базових об'єктів КЕП та КЕД конструкції ВП УС-ПО представлена на рис.1. Представлена структура відтворює інформацію, необхідну для формалізованого опису геометрії, функціональних властивостей КЕП (та відповідно КЕД), їх розташування в просторі та для проведення аналізу на можливість з'єднання КЕП (та відповідно КЕД) в єдину конструкцію ВП (відповідно конструктивного елементу).

Структура ФМ є множиною даних (об'єктів та їх атрибутів), якими може бути описана КВП системи УС-ПО. Всю номенклатуру атрибутів об'єктів в ФМ можна розділити на: фізичні, геометричні, структурні та функціональні.

Геометричні атрибути визначаються геометрією і розташуванням даного об'єкта в об'єкті вищого рівня структурної ієрархії ФМ КВП та геометрією і розташуванням складових конструктивних елементів.

Фізичні атрибути характеризують фізико-технічний стан (механічні, технологічні властивості тощо) реального об'єкта – конструктивних елементів пристосування та поверхонь, що їх утворюють.

Структурно-функціональні атрибути є предметно-орієнтованим описом конструкцій ВП системи УС-ПО і використовуються в процесі синтезу його структури.

Отже, в ФМ КЕП всі структури даних (об'єкти, їх множини та атрибути) відповідно до своїх РІС поділені на дві множини властивостей:

- *Attr_КЕП* – властивості даного КЕП як єдиного цілого – базового елементу КВП;
- *Attr_КЕД* – властивості конструктивних елементів деталі, що утворюють форму даного КЕП, і відносяться до більш низьких рівней ієрархії структури.

З іншого боку, в межах *Attr_КЕП* та *Attr_КЕД*, всі структури даних можна поділити на:

- множину фізико-технологічних властивостей (елементів УС-ПО);
- множину структурно-функціональних властивостей (елементів УС-ПО).

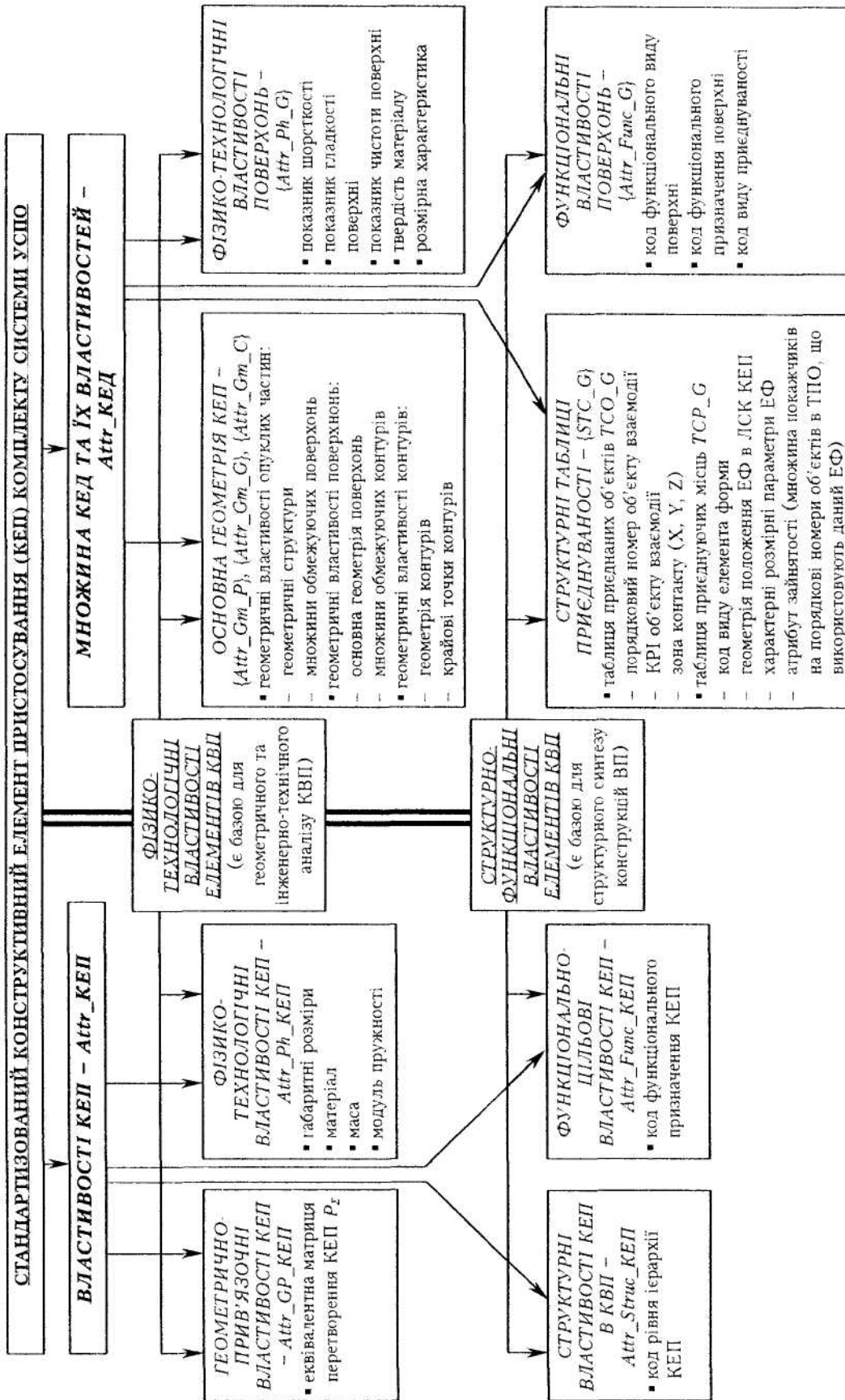


Рис. 1. Загальна структура властивостей та характеристик КЕД та КЕД верстатних пристосувань системи УСПО

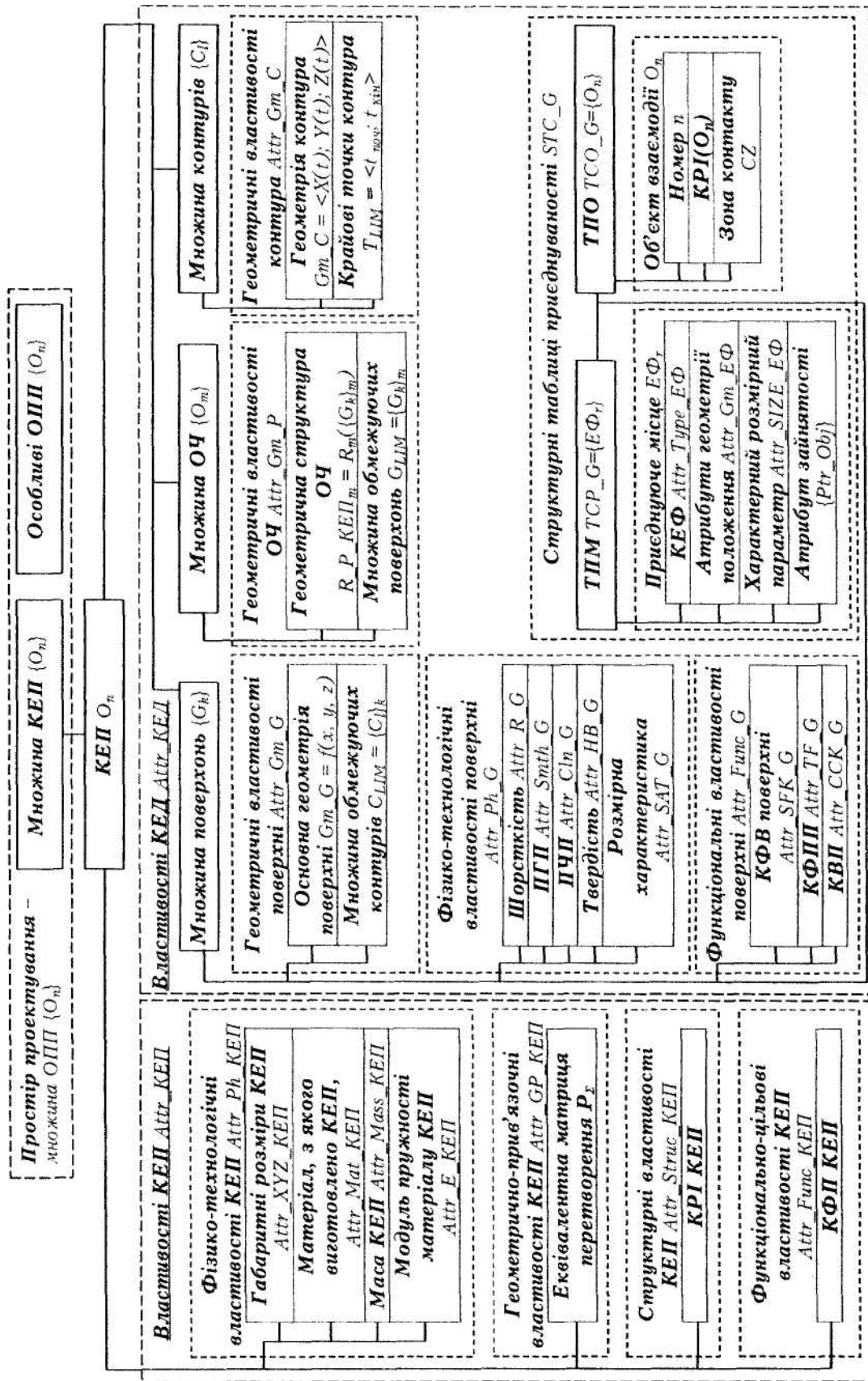


Рис.2. Ієрархічна структура формалізованої моделі конструктивних елементів ВП системи УСПО

До множини фізико-технологічних властивостей відносяться:

- *Attr_Ph_KEП* – фізико-технологічні властивості КЕП;
- *Attr_GP_KEП* – геометрично-прив'язочні властивості КЕП, що описують геометричне положення локальної системи координат (ЛСК) КЕП в глобальній системі координат (ГСК) ПП;
- *Attr_Ph_G* – фізико-технологічні властивості поверхні (показник шорсткості – ПШ, показник гладкості поверхні – ПП, показник чистоти поверхні – ПЧП, показник твердості поверхні – НВ, розмірна характеристика – РХ);
- основна геометрія КЕП – множини КЕД та їх атрибутів:
- $\{Attr_Gm_P\}$ – геометричні властивості опуклих частин (ОЧ) – геометричні структури $\{R_P_KEП_m\}$ та множини обмежуючих поверхонь $\{G_{LIM} = \{G_REF_k\}_m\}$;
- $\{Attr_Gm_G\}$ – геометричні властивості поверхонь – основна геометрія поверхонь $\{Gm_G\}$ та множини обмежуючих контурів $\{C_REF_{lk}\}$;
- $\{Attr_Gm_C\}$ – геометричні властивості контурів – геометрія контурів $\{Gm_C\}$ та крайові точки контурів $\{T_{LIM}\}$.

До множини структурно-функціональних властивостей відносяться:

- *Attr_Struc_KEП* – структурні властивості КЕП в КВП – код рівня ієрархії (КРІ);
- *Attr_Func_KEП* – функціонально-цільові властивості КЕП (властивості функціонального призначення КЕП) – код функціонального призначення (КФП) КЕП;
- $\{Attr_Func_G\}$ – функціональні властивості поверхонь – код функціонального виду (КФВ), код функціонального призначення поверхні (КФПП) та код виду приєднуваності (КВП);
- $\{STC_G\}$ – структурні таблиці приєднуваності об'єктів – ТПО $\{TCO_G\}$ та таблиці приєднуючих місць (ТПМ)- $\{TCP_G\}$.

Роль і призначення фізико-технологічних та структурно-функціональних властивостей суттєво відрізняються. Фізико-технологічні властивості необхідні для контролю виконання параметричного синтезу КВП, а також приймають участь в процесах аналізу КВП – геометричного та інженерно-технічного. Структурно-функціональні властивості беруть участь в процесах структурного синтезу КВП. Для здійснення структурного синтезу, крім структурно-функціональних властивостей, необхідні фізико-технологічні властивості елементів КВП системи УСПО відповідних РС.

Частина даних ФМ КЕП, що апріорно відома до процесу проектування кожної окремої конструкції пристосування, є умовно-постійною інформацією і може бути занесена до відповідних статичних баз даних. Частина даних ФМ КЕП, що формується і модифікується в процесі проектування конструкції пристосування, є змінною інформацією і формується у відповідних динамічних структурах даних.

Отже, до ФМ КЕП входить:

1. Умовно-постійна інформація (апріорно відома до процесу проектування):

1. Властивості КЕП – *Attr_KEП*:

а) фізико-геометричні – *Attr_Ph_KEП*:

- габаритні розміри КЕП – *Attr_XYZ_KEП*;
- матеріал, з якого виготовлено КЕП, – *Attr_Mat_KEП*;
- маса КЕП – *Attr_Mass_KEП*;
- модуль пружності матеріалу КЕП – *Attr_E_KEП*;

б) функціонально-цільові – *Attr_Func_KEП*:

- код функціонального призначення КЕП – КФП.

2. Властивості КЕД – *Attr_KEД*:

а) основна геометрія КЕП – $\{Attr_Gm_P\}$, $\{Attr_Gm_G\}$, $\{Attr_Gm_C\}$:

- геометричні властивості опуклих частин – $\{Attr_Gm_P\}$:
 - геометричні структури ОЧ – $\{R_P_KEП_m = R_m(\{G_REF_k\}_m)\}$;
 - множини обмежуючих поверхонь – $\{G_{LIM} = \{G_REF_k\}_m\}$;
- геометричні властивості поверхонь – $\{Attr_Gm_G\}$:
 - основна геометрія поверхонь – $\{Gm_G = f(x, y, z)\}$;
 - множини обмежуючих контурів – $\{C_{LIM} = \{C_REF_{lk}\}$;
- геометричні властивості контурів – $\{Attr_Gm_C\}$:
 - геометрія контурів – $\{Gm_C = \langle X(t); Y(t); Z(t) \rangle\}$;
 - крайові точки контурів – $\{T_{LIM} = \langle t_{now}; t_{kin} \rangle\}$;

б) фізико-технологічні властивості поверхонь – $\{Attr_Ph_G\}$:

- показник шорсткості - $\{Attr_R_G\}$;
 - показник гладкості поверхні - $\{Attr_Smth_G\}$;
 - показник чистоти поверхні - $\{Attr_Cln_G\}$;
 - твердість матеріалу - $\{Attr_HB_G\}$;
 - розмірна характеристика - $\{Attr_SAT_G\}$;
 - e) функціональні властивості поверхонь - $\{Attr_Func_G\}$:
 - код функціонального виду поверхні - $\{Attr_SFK_G\}$;
 - код функціонального призначення поверхні - $\{Attr_TF_G\}$;
 - код виду приєднуваності - $\{Attr_CCK_G\}$, що визначає структуру ТПМ даної поверхні - опису ЕФ поверхні;
 - d) геометрична характеристика ЕФ поверхні, що визначає функціональні властивості поверхонь, - атрибути ТПМ $\{TCP_G\}$:
 - код виду елемента форми - $\{Attr_Type_EФ\}$;
 - атрибут геометрії положення ЕФ в ЛСК КЕП $\{Attr_Gm_EФ\}$;
 - характерний розмірні параметри ЕФ $\{Attr_SIZE_EФ\}$.
- II. Змінна інформація (формується і модифікується в процесі проектування):
1. Властивості КЕП - $Attr_КЕП$:
 - a) геометрично-прив'язочні властивості КЕП - $Attr_GP_КЕП$:
 - еквівалентна матриця перетворення - P_{Σ} , що задає положення центру ЛСК (X, Y, Z) в ГСК та орієнтацію осей ЛСК (α, β, γ) ;
 - b) структурні властивості КЕП в КВП - $Attr_Struc_КЕП$:
 - код рівня ієрархії КЕП в ПП - KPI .
 2. Властивості КЕД - $Attr_КЕД$ (структурні таблиці приєднуваності):
 - a) структурні атрибути поверхонь - ТПО $\{TCO_G\}$:
 - порядковий номер об'єкта взаємодії - $\{n\}$;
 - КРІ об'єкту взаємодії - $\{KPI(O_n)\}$;
 - зона контакту з об'єктом n - $\{CZ = \langle X_{min}; X_{max} \rangle, \langle Y_{min}; Y_{max} \rangle, \langle Z_{min}; Z_{max} \rangle\}$;
 - b) структурний атрибут ЕФ в ТПМ $\{TCP_G\}$:
 - атрибут зайнятості - множина покажчиків на порядкові номери в ТПО всіх КЕП, що взаємодіють із даною поверхнею і використовують при цьому даний ЕФ, - $\{\{Ptr_Obj\}_r\}$.

Ієрархічна структура формалізованої моделі КЕП та КВП системи УСПО наведена на рис. 2.

Розроблена модель УСПО дозволяє описувати безпосередньо найпоширеніші комплекти системи універсально-складальних пристосувань (УСП), а також легко переходити до опису інших систем складального та переналаджуваного технологічного оснащення в межах системи УСПО. Розроблена модель УСПО, сполучаючи в собі необхідні структури даних як для синтезу, так і для вибору структури конструкції пристосування, є універсальною з точки зору методики проектування, що може бути використана. В моделі УСПО передбачено опис даних, необхідних для найскладнішого підходу до структурного синтезу - послементного синтезу структури, а також передбачено наявність необхідних даних для виконання інженерно-технічного аналізу конструкцій УСПО.

Представлений у формалізованому вигляді опис ієрархічної структури елементів конструкцій верстатних пристосувань системи УСПО являє собою всі необхідні для автоматизованого проектування структури даних, що є основою для подальшої розробки САПР УСПО.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Горанский Г.К., Губич Л.В., Махнач В.И., Медведев С.В., Ракович А.Г., Стрельцов А.И., Швед О.Л. Автоматизация проектирования технологических процессов и средств оснащения / Под ред. А.Г. Раковича. - Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997. - 276 с.
2. Губич Л.В. Информационная база автоматизированного проектирования приспособлений. Дис. канд. техн. наук. - Минск, 1984. - 209 с.
3. Кирилович В.А., Підтиченко О.В., Томашевський В.В., Яновський В.А. Методичні підходи до вирішення задачі автоматизованого проектування універсально-складальних пристосувань // Вісник ЖІТІ. - 2001. - № 18. - С. 105-114.

4. *Кирилович В.А., Яновский В.А.* Формализация задачи автоматизированного проектирования компоновок универсально-сборной переналаживаемой оснастки // Создание и применение высокоэффективных, наукоёмких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов: Материалы международной научно-технической конференции. – Могилёв: МГТУ, 2001. – С. 82–83.
5. *Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н.* Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
6. *Кункевич Д.И., Махнач Г.В., Медведев С.В., Яковлева Ж.Г.* Развитая система компьютерного проектирования средств сварочного технологического оснащения // Моделирование и информационные технологии проектирования. Сборник научных трудов. Вып. 2. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 2000. – С. 122–131.
7. *Медведев С.В.* Компьютерные технологии проектирования сборочно-сварочной оснастки. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – 194 с.
8. *Рижов Э.В., Яновский В.А., Полоцкий Л.Г. и др.* Методологические основы автоматизированного проектирования универсально-сборных приспособлений / Информатизация та нові технології. – К.; 1995. – № 3–4. – С. 10–13.
9. *Норенков И.П., Маничев В.Б.* Основы теории и проектирования САПР: Учеб. для втузов по спец. «Вычислительные маш., компл., сист. и сети». – М.: Высш. шк., 1990. – 335 с.
10. *Прохорова А.А.* Подходы к синтезу конструкций на базе конструктивных элементов в среде диалоговых систем // Моделирование и информационные технологии проектирования. Сборник научных трудов. Вып. 2. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 2000. – С. 88–94.
11. *Ракович А.Г.* Автоматизация проектирования приспособлений для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1980. – 136 с.
12. *Ракович А.Г.* Принципы разработки технологических приспособлений в системе автоматизированного проектирования. Дис. докт. техн. наук. – Минск, 1983. – 421 с.
13. *Рвачёв В.Л., Шевченко А.Н.* Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчётов. – К., 1988. – 197 с.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– автоматизація технологічної підготовки механоскладального машино- та приладобудівного автоматизованого виробництва;

– автоматизація технологічних процесів.

Тел. дом.: 38/0412-33-89-78.

E-mail: kiril_v@ziet.zhitomir.ua

ПІДТИЧЕНКО Олександр Владиславович – магістр Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання технологічних процесів.

Тел. дом.: 38/0412-34-64-19.

ТОМАШЕВСЬКИЙ Віталій Валерійович – магістр Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– використання ЕОМ для розв'язку задач автоматизації проектування.

Тел. дом.: 38/0412-22-22-26.

ЯНОВСЬКИЙ Валерій Анатолійович – доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– автоматизація технологічної підготовки машинобудівного виробництва.

Тел. дом.: 38/0412-39-56-33.