

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
В.А. Кирилович, к.т.н., доц.
Р.С. Моргунов, спеціаліст

Житомирський державний технологічний університет

СЕМАНТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СХВАТІВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ З ОБ'ЄКТАМИ МАНІПУЛЮВАННЯ

На підставі змістовної сутності, визначених складових та технологічних параметрів представлено системну модель технологічної взаємодії схвата промислового робота з об'єктами маніпулювання та її графічну інтерпретацію у вигляді семантичної моделі.

Вступ. Постановка проблеми. Обслуговування робочих позицій (РП) гнучких виробничих комірок (ГВК) схватом (Сх) промислового робота (ПР) супроводжується так званою технологічною взаємодією СхПР з об'єктом маніпулювання (ОМ). Остання характеризується сукупністю векторно-проекційних, геометрично-силових та траєкторно-динамічних зв'язків між ОМ, СхПР, пристосуванням (Пр) технологічного обладнання (ТО) та РП. Як правило, на етапі синтезу роботизованих механообробних технологій (РМТ) для кожної РП ГВК доцільно обирати такі поверхні ОМ, при затиску яких у СхПР точка центру мас ОМ (G_{OM}) співпадала би з полюсом Сх (P_{Cx}), або відстань між ними (P_{Cx} та G_{OM}) була би мінімальною $P_{Cx}G_{OM} \rightarrow \min$. При невиконанні даної умови під час переміщення на СхПР з ОМ будуть діяти ряд факторів, що можуть суттєво впливати на динамічні (швидкість переміщення), технічні (зміна продуктивності) та функціональні (можливість появи аварійної ситуації за рахунок інерційних навантажень на Сх та ПР) чинники, що, в свою чергу, впливають на кінцеві показники ефективності щодо реалізації РМТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У багатьох інформаційних джерелах висвітлені питання щодо конструкцій та вибору Сх [1, 6, 7, 9, 12, 15] при проектуванні гнучких виробничих систем (ГВС) [2, 4, 6, 7, 13]. Але в загальному випадку ніде не розглядалися питання щодо визначення поверхонь і координат точки затиску відповідно (ПЗт і КТЗ) ОМ в СхПР у контексті технологічної передісторії та "постісторії". В [15–17] розглянуто випадки затиску ОМ в Сх при $P_{Cx}G_{OM} \rightarrow 0$ та сили, що діють при цьому на ОМ та Сх, але не розглянуто, яким чином обиралась та або інша ПЗт, не враховувалась технологічна послідовність базувань та закріплень кожної із можливих ПЗт ОМ в Сх й Пр інших РП відповідно до маршруту технологічної дії на ОМ.

Відомі також описові рекомендації щодо визначення ПЗт [8], а також деякі аналітично-розрахункові рекомендації щодо ПЗт та КТЗ ОМ, що, як правило, базуються на особливостях конструкцій Сх та їх затискних елементів (ЗЕ) [9, 15, 17].

При цьому абсолютно відсутній розгляд питань щодо узгодженої взаємодії Сх з ОМ, який знаходиться в Пр t-ої РП (РП_t), та необхідного наступного базування й закріплення технологічного роботизованого комплексу (ТРК) [5] (Сх + ОМ_t) в ПрРП_t, де $t = \overline{1, T}$, T – кількість робочих позицій ГВК. Крім того, нечіткість, неоднозначність та розмитість вказаних рекомендацій не реалізовано автоматизовано, що вказує на неможливість, або фрагментарну можливість їх подальшої модифікації для подальшого проектування ефективної процедури автоматизації розглянутої технологічної взаємодії.

У зв'язку з зазначеним вище, проблема визначення параметрів процесу технологічної взаємодії СхПР з ОМ залишається невирішеною, що, в свою чергу, унеможливує функціонування системи автоматизованого синтезу (АС) РМТ в ГВК як такої.

Для наочного зображення складових факторів, що впливають на технологічну взаємодію СхПР з ОМ, а також відношень між ними, доцільно скористатися семантичною моделлю. Під останньою розуміється модель ситуацій, середовищ, наочних областей у вигляді графів, що описують зв'язки між елементами множини [10, 11].

Метою дослідження є графічна візуалізація семантичною моделлю формалізованого зображення з єдиних системних позицій поняття "технологічна взаємодія схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання", яке базується на змістовній сутності вказаного поняття та функціональній взаємодії елементів технологічної роботизованої системи (ТРС), що придатне для подальшого використання при розв'язку ряду задач АС РМТ на відомому технічному базисі.

Викладення основної частини. Синтез РМТ – складний і необхідний процес, в якому аналізуються та обробляються дані про елементи ГВК, що отримані на попередньому етапі проектування. Під час синтезу РМТ розглядаються задачі знаходження кращих траєкторій переміщення СхПР, вибір поверхонь затиску ОМ тощо. Тому доцільно розглядати технологічну взаємодію СхПР з ОМ із урахуванням умови мінімізації $P_{Cx}G_{OM} \rightarrow \min$, що в ідеалі повинно бути $P_{Cx}G_{OM} = 0$.

Технологічна взаємодія поняття комплексне, інтегроване та його пропонується розглядати як таке, що характеризується такими показниками:

1. Геометрично-силові (відстань між точками P_{Cx} та G_{OM}).
2. Векторно-проекційні (технологічні параметри сервісу).
3. Траекторно-динамічні (траекторія переміщення СхПР до/від зону/зони обслуговування (ЗО) РП).

Варто звернути увагу на те, що після того, як будуть визначені ПЗт та КТЗ ОМ в СхПР, виникає завдання вибору орієнтації Сх, напрямку підходу/відходу його при обслуговуванні кожної РП_і, тобто вибору технологічних параметрів сервісу даної РП_і (ТПС_і).

До запропонованого та вперше введеного тут поняття ТПС_і належать: технологічний кут сервісу (ТКС_і) підходу/відходу (ТКСП_і/ТКСВ_і), технологічні вектори підходу/відходу (ТВП_і/ТВВ_і) СхПР до/від ПрРП_і (рис. 1). Технологічний кут сервісу (ТКС_і) – умовний кут, що може описати поздовжня вісь схвата при переміщенні навколо точки, що одночасно належить ОМ_і та P_{Cx} .

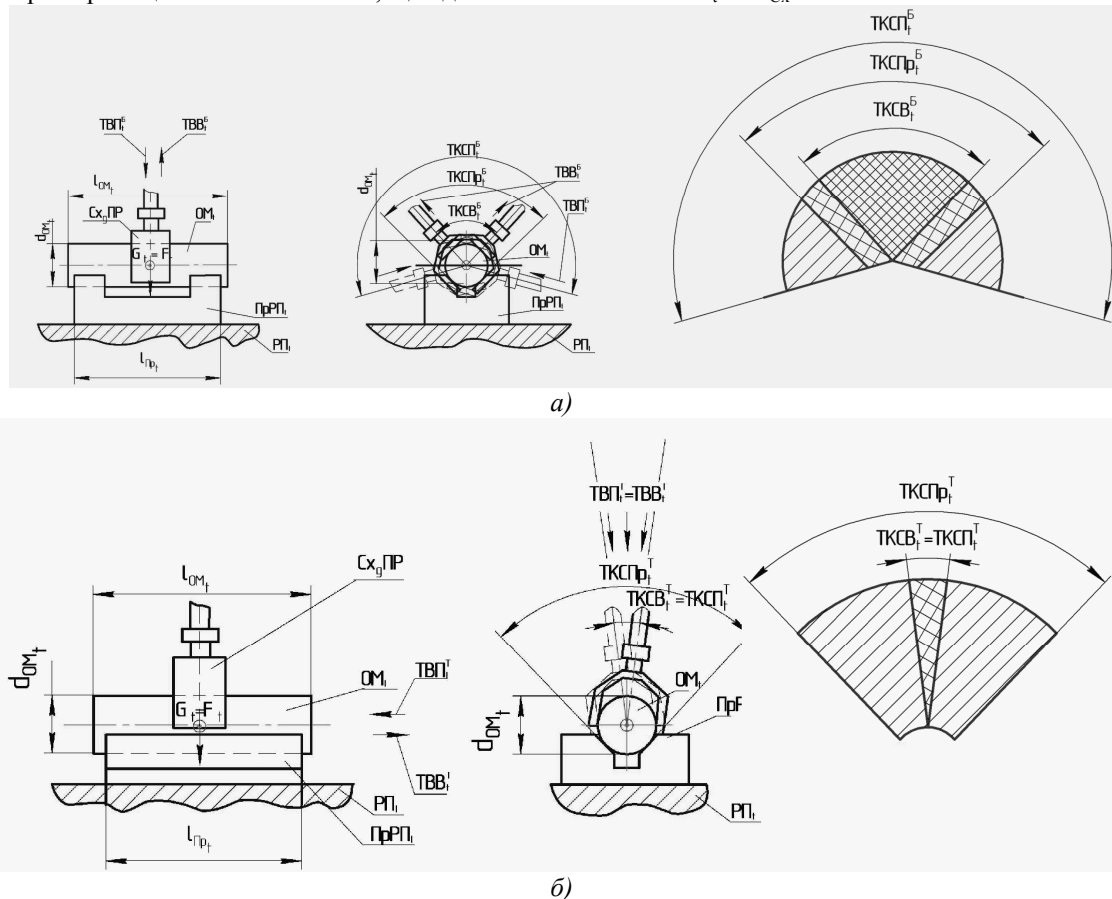


Рис. 1. Приклади графічної ілюстрації поняття ТПС та його параметрів при підході Сх до ОМ за траекторією, що: а – перпендикулярна осі ОМ; б – співвісна з віссю ОМ

Технологічний кут сервісу відходу (ТКСВ_і) Сх від ПрРП_і – це кут, що може бути описаний поздовжньою (поперечною) віссю Сх при його відході від ПрРП з/без ОМ та є доповненням технологічного вектора відходу (ТВВ_і) – напрямку переміщення СхПР з/без ОМ_і від ПрРП_і.

Технологічний кут сервісу підходу (ТКСП_і) СхПР до ОМ_і – це кут, що може бути описаний поздовжньою (поперечною) віссю схвата при підході до ПрРП_і з/без ОМ_і та є доповненням технологічного вектора підходу (ТВП_і) – напрямку переміщення СхПР з/без ОМ_і до ПрРП_і.

Основні фактори, що визначають технологічну взаємодію СхПР з ОМ, зображено на рисунку 2.

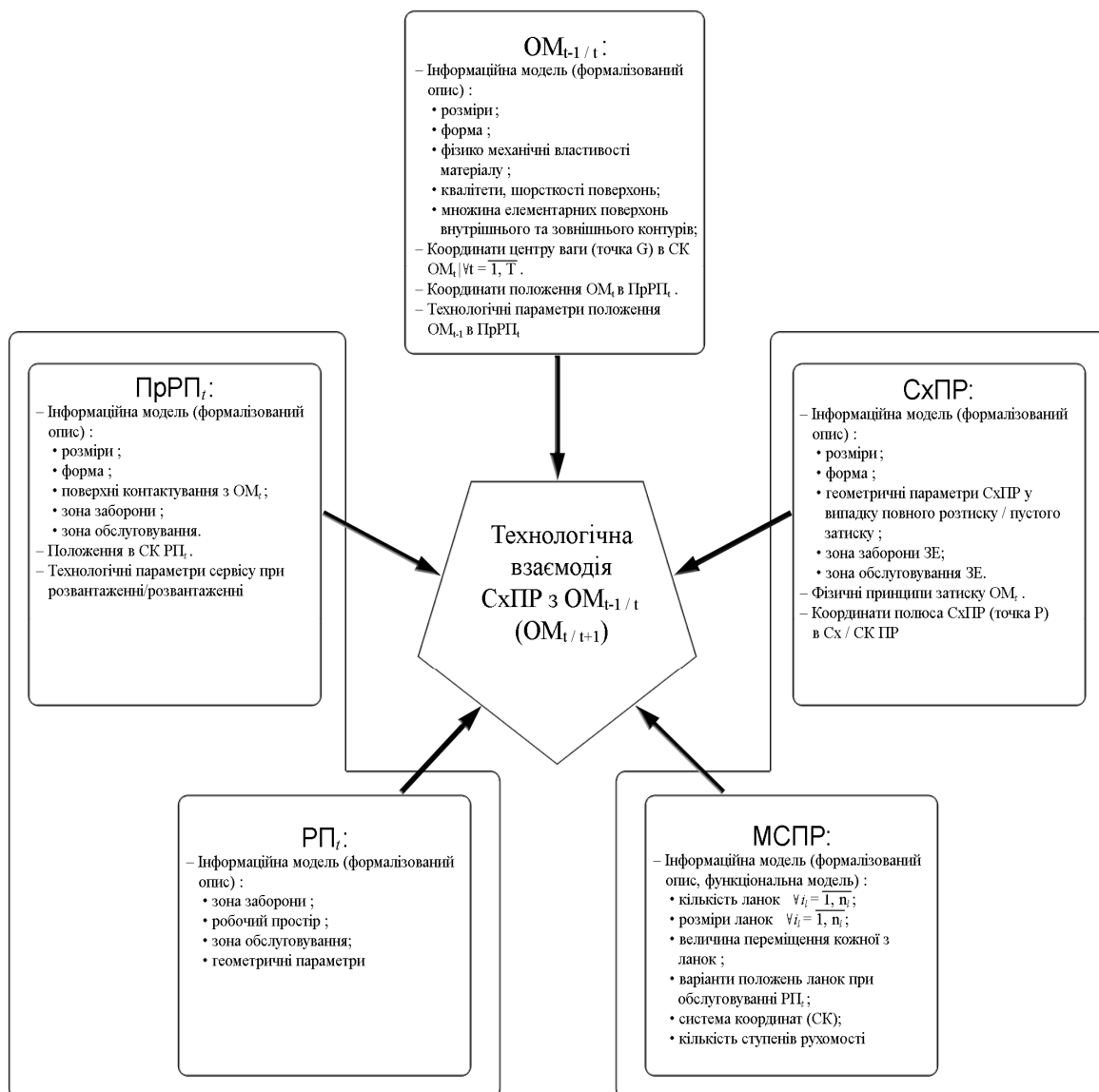


Рис. 2. Фактори, що визначають технологічну взаємодію СхПР з ОМ

Визначення ПЗт та КТЗ ОМ_t при технологічній взаємодії СхПР з ОМ на РП_t узагальнено і зображено у вигляді системної моделі. Для цього проведено аналіз факторів, що впливають на ефективність технологічної взаємодії СхПР із ОМ.

Зображення зон доступу (ЗД) ОМ_t | t = $\overline{1, T}$ у вигляді множини даних можна представити таким виразом:

$$C_{ЗД_{ОМ_t}} |_{t = \overline{1, T}} = \lambda_{ЗД_{ОМ_t}} (C_{ОМ_t}), \tag{1}$$

де $C_{ЗД_{ОМ_t}}$ – множина даних, яка містить інформацію про ЗД ОМ_t на РП_t, тобто це множина поверхонь, що конструктивно допускають затискування їх у Сх, ПрРП_t, ПрРП_{t+1}; T – загальна кількість РП; $\lambda_{ЗД_{ОМ_t}}$ – узагальнена функція знаходження ЗД ОМ_t; $C_{ОМ_t}$ – множина даних, в якій міститься інформація про ОМ_t (розміри, форма поверхонь ОМ), це може бути часткова інформаційна модель ОМ [3].

Зображення ЗД ОМ_t в СхПР у вигляді множини даних доцільно представити так:

$$C_{ЗД_{ОМ_t+Cx}} |_{t = \overline{1, T}} = \lambda_{ЗД_{ОМ_t+Cx}} (C_{ЗД_{ОМ_t}}, C_{Cx}), \tag{2}$$

де $C_{ЗД_{ОМ_t+Cx}}$ – множина даних, яка містить інформацію про ЗД $ОМ_t$ у Cx , тобто це поверхні, за допомогою яких можливий затиск у Cx , із врахуванням розмірів $PE Cx$; T – загальна кількість РП; $\lambda_{ЗД_{ОМ_t+Cx}}$ – узагальнена функція знаходження ЗД $ОМ_t$ в Cx ; $C_{ЗД_{ОМ_t}}$ – множина даних, що містить інформацію про ЗД $ОМ$ на $РП_t$ без врахування розміщення $ОМ_t$ в $ПрРП_t$, тобто це ті поверхні, які конструктивно дозволяють затиск їх в Cx ; C_{Cx} – множина даних, що несе інформацію про P_{Cx} , розміри, форму $PE Cx$.

Зображення ЗД $ОМ_t$ на $ПрРП_t | t = \overline{1, T}$ множиною відповідних даних є таким:

$$C_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_t}} | t = \overline{1, T} = \lambda_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_t}} (C_{ЗД_{ОМ_t}}, C_{ПрРП_t}), \quad (3)$$

де $C_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_t}}$ – множина даних, яка містить інформацію про ЗД $ОМ_t$ в $ПрРП_t$, тобто це множина поверхонь, за допомогою яких можливий затиск $PE Cx$ із врахуванням того, що $ОМ_t$ розташований у $ПрРП_t$; T – загальна кількість РП; $\lambda_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_t}}$ – узагальнена функція знаходження ЗД $ОМ_t$ в $ПрРП_t$; $C_{ЗД_{ОМ_t}}$ – множина даних, яка містить інформацію про ЗД $ОМ$ на $РП_t$ без врахування розміщення $ОМ_t$ в $ПрРП_t$, тобто це множина поверхонь, за допомогою яких конструктивно можливий затиск їх в Cx ; $C_{ПрРП_t}$ – множина даних, що несе інформацію про форму, розміри $ПрРП_t$.

Зображення ЗД $ОМ_t$ на $ПрРП_{t+1} | t = \overline{1, T}$ є аналогічним виразу (3) з урахуванням відповідних індексів:

$$C_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_{t+1}}} | t = \overline{1, T} = \lambda_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_{t+1}}} (C_{ЗД_{ОМ_t}}, C_{ПрРП_{t+1}}). \quad (4)$$

Спільні ЗД $ОМ_t$ для Cx , $ПрРП_t$, $ПрРП_{t+1} | t = \overline{1, T}$ мають такий вираз:

$$C_{ЗД_{ОМ_t+Cx+ПрРП_t+ПрРП_{t+1}}} | t = \overline{1, T} = \gamma_{ЗД_{ОМ_t+Cx+ПрРП_t+ПрРП_{t+1}}} (C_{ЗД_{ОМ_t+Cx}}, C_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_t}}, C_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_{t+1}}}), \quad (5)$$

де $C_{ЗД_{ОМ_t+Cx+ПрРП_t+ПрРП_{t+1}}}$ – множина даних, що містить інформацію про спільні ЗД $ОМ_t$ для Cx , $ПрРП_t$, $ПрРП_{t+1}$; T – загальна кількість РП; $\gamma_{ЗД_{ОМ_t+Cx+ПрРП_t+ПрРП_{t+1}}}$ – узагальнена функція знаходження спільних ЗД для $ОМ_t$ в Cx , $ПрРП_t$, $ПрРП_{t+1}$; $C_{ЗД_{ОМ_t+Cx}}$ – множина даних, що містить інформацію про ЗД $ОМ_t$ в Cx , тобто це інформація про множину поверхонь, за допомогою яких можливий затиск в Cx із урахуванням розмірів $PE Cx$; $C_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_t}}$ – множина даних, яка містить інформацію про ЗД $ОМ_t$ в $ПрРП_t$, що є множиною поверхонь, за допомогою яких можливий затиск $PE Cx$ із урахуванням розташування $ОМ_t$ в $ПрРП_t$; $C_{ЗД_{ОМ_t+ПрРП_{t+1}}}$ – множина даних, що містить інформацію про ЗД $ОМ_t$ в $ПрРП_{t+1}$, тобто це множина поверхонь, що можливий затиск $PE Cx$ із урахуванням того, що $ОМ_t$ розташований в $ПрРП_{t+1}$.

Представлення поверхонь, координати затиску $ОМ_t$ в Cx на $РП_t | t = \overline{1, T}$ із урахуванням умови $P_{Cx}G_{OM} \rightarrow 0$ у вигляді множини можна представити таким виразом:

$$C_{КТЗ_t} | t = \overline{1, T} = \varphi_{КТЗ_t} (C_{ЗД_{ОМ_t+Cx+ПрРП_t+ПрРП_{t+1}}}, C_{G_{OM_t}}, C_{Cx}), \quad (6)$$

де $C_{КТЗ_t}$ – інформація про множину поверхонь, координати затиску $ОМ_t$ в Cx на $РП_t$ із урахуванням умови $P_{Cx}G_{OM} \rightarrow 0$; T – загальна кількість РП; $\varphi_{КТЗ_t}$ – узагальнена функція знаходження вказаних поверхонь, координат точки затиску $ОМ_t$ для $РП_t | t = \overline{1, T}$; $C_{ЗД_{ОМ_t+Cx+ПрРП_t+ПрРП_{t+1}}}$ – множина даних, що містить інформацію про спільні ЗД $ОМ_t$ для Cx , $ПрРП_t$, $ПрРП_{t+1}$; $C_{G_{OM_t}}$ – множина даних, яка містить інформацію про координати центру мас $ОМ_t$:

$$C_{G_{OM_t}} = \varphi_{G_{OM_t}} (C_{OM_t}),$$

де $\varphi_{G_{OM_t}}$ – узагальнена функція знаходження центру мас $ОМ_t$; C_{OM_t} – інформація про $ОМ_t$ (розміри, форма поверхонь $ОМ$), що може бути частковою інформаційною моделлю $ОМ$ [3]; C_{Cx} – множина даних, що несе інформацію про P_{Cx} , розміри, форму $PE Cx$.

Зображення ТПС_t для $РП_t | t = \overline{1, T}$ із урахуванням умови $P_{Cx}G_{OM} \rightarrow 0$ у вигляді множини може бути подана таким виразом:

$$C_{ТПС_i} |_{t = \overline{1, T}} = \xi_{ТПС_i} (C_{КТЗ}, C_{МСПР}, C_{ПрРП_i}), \quad (7)$$

де $C_{ТПС_i}$ – множина даних, що містить інформацію про ТПС_i для РП_i із урахуванням умови $P_{Сх}G_{ОМ} \rightarrow 0$; T – загальна кількість РП; $\xi_{ТПС_i}$ – узагальнена функція знаходження ТПС_i для РП_i | $t = \overline{1, T}$; $C_{КТЗ}$ – множина даних, що містить інформацію про поверхні, координати затиску ОМ_t в Сх на РП_i із урахуванням умови $P_{Сх}G_{ОМ} \rightarrow 0$; $C_{МСПР}$ – множина даних, в якій міститься інформація про функціональні можливості МСПР; $C_{ПрРП_i}$ – множина даних, в якій міститься інформація про форму, розміри ПрРП_i.

Зображення траекторно-динамічних параметрів переміщення Сх до/від РП_i | $t = \overline{1, T}$ із урахуванням умови $P_{Сх}G_{ОМ} \rightarrow 0$, у вигляді множини можливо подати так:

$$C_{ADC_i} |_{t = \overline{1, T}} = \iota_{ADC_i} (C_{ТПС_i}, C_{МСПР}, C_{РП_i}), \quad (8)$$

де C_{ADC_i} – множина даних, що містить інформацію про переміщення Сх до/від ПрРП_i за відомої умови $P_{Сх}G_{ОМ} \rightarrow 0$; T – загальна кількість РП; ι_{ADC_i} – узагальнена функція знаходження переміщення Сх до/від РП_i | $t = \overline{1, T}$; $C_{ТПС_i}$ – множина даних, що містить інформацію про ТПС_i для РП_i із урахуванням $P_{Сх}G_{ОМ} \rightarrow 0$; $C_{МСПР}$ – множина даних кінематичних та динамічних можливостей МСПР; $C_{РП_i}$ – множина даних, що містить інформацію про РП_i, зокрема її зони обслуговування – ЗО РП_i.

Узагальнюючи вище сказане та з урахуванням виразів (1)–(8) системна модель технологічної взаємодії СхПР з ОМ може бути представлена таким чином:

$$\begin{aligned} C_{ЗДОМ_t} &\xrightarrow{\lambda} \{C_{ЗДОМ_t+Сх}, C_{ЗДОМ_t+ПрРП_t}, C_{ЗДОМ_t+ПрРП_{t+1}}\} \xrightarrow{\gamma} \\ &\xrightarrow{\gamma} C_{ЗДОМ_t+Сх+ПрРП_t+ПрРП_{t+1}} \xrightarrow{\varphi} C_{КТЗ} \xrightarrow{\xi} C_{ТПС_i} \xrightarrow{\iota} C_{ADC_i}. \end{aligned} \quad (9)$$

Перетворення λ, γ, φ мають вигляд накладання обмежень і задаються допустимими множинами аргументів та значень функцій відповідних параметрів. Перетворення ξ є результатом моделювання можливих варіантів, обмежених можливостями МСПР, орієнтацією Сх та порівняння варіантів між собою. Перетворення ι передбачає моделювання можливих варіантів переміщення Сх до/від РП_i | $t = \overline{1, T}$, що також обмежено МСПР, та порівняння варіантів між собою.

На основі системної моделі [11] технологічну взаємодію СхПР з OM_t можна графічно представити у вигляді семантичної моделі [10, 11], що на рисунку 3 надана у вигляді орієнтованого зваженого графа, де вершинами є відповідні інформаційні складові. При цьому вага ребер графа представлено у вигляді відповідних функцій перетворення даних за (9), зміст яких – отримання конкретних даних із певної множини значень, що представлено вершинами графа. Визначення ПЗт і КТЗ OM_t в Сх повинно виконуватись за умови $P_{Сх}G_{OM} \rightarrow 0$ зі всіх можливих варіантів розмірів елементів ТРС, орієнтації СхПР та OM_t .

Висновки. Сформовані системна та семантична моделі технологічної взаємодії СхПР з OM_t , що змістовно відтворюють сутність запропонованого терміна “технологічна взаємодія схватів промислових робіт з об’єктами маніпулювання”. Визначена формалізація розглядається авторами як інформаційно-методичний базис АС РМТ, що розробляється в Житомирському державному технологічному університеті.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Бурдаков С.Ф.* Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / *С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев.* – М. : Высш. шк., 1986. – 264 с.
2. *Дудюк Д.Л.* Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси : навч. посібник / *Д.Л. Дудюк, С.С. Мазена, М.М. Мисик.* – Львів : Магнолія плюс, 2005. – 278 с.
3. *Кирилович В.А.* Інформаційна модель об’єктів маніпулювання для умов роботизованих механоскладальних технологій / *В.А. Кирилович* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир, 2009. – № 4 (51). – С. 27–36.
4. *Кирилович В.А.* Теоретико-множинна інтерпретація проектування роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / *В.А. Кирилович* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир, 2010. – № 2 (53). – С. 35–43.
5. *Кирилович В.А.* Умови функціональної реалізованості роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / *В.А. Кирилович* // Науковий журнал “Технологічні комплекси”. – Луцьк, 2010. – № 1. – С. 136–145.
6. *Корендясев А.И.* Теоретические основы робототехники : В 2 кн. : моногр. Кн. 1 / под ред. *С.М. Каплунова.* – М. : Наука, 2006. – 383 с.
7. *Корендясев А.И.* Теоретические основы робототехники: В 2 кн. : моногр. Кн. 2. – М. : Наука, 2006. – 376 с.
8. Промышленные роботы: конструирование, управление, эксплуатация / *В.И. Костюк, А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский, А.Г. Карлов.* – К. : Высш. шк. Главное изд-во, 1985. – 359 с.
9. *Проць Я.І.* Захоплювальні пристрої промислових робіт: навч. посібник / *Я.І. Проць.* – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2008. – 232 с.
10. *Спину Г.О.* Робототехніка : моногр. / *Г.О. Спину, В.С. Юмашев.* – Житомир : ЖДТУ, 2008. – 332 с.
11. *Томашевський В.М.* Моделювання систем / *В.М. Томашевський.* – К. : Видав. гр. ВНУ, 2005. – 352 с.
12. *Челпанов И.Б.* Схваты промышленных роботов / *И.Б. Челпанов, С.Н. Колташников.* – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1989. – 287 с.
13. Гнучкі комп’ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління : підручник / *Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін* та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 680 с.
14. *Melnychuk P.* Использование теории кватернионов для формирования функциональных моделей манипуляционных систем промышленных роботов / *P. Melnychuk, V. Kyrylovysh, O. Pysarchyk* // *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej.* – №279. – Mechanika. – Z. 83 (nr 1/2011). – S. 103–112.
15. *Monkman G.J.* Robot grippers / *G.J. Monkman, S.Hesse, R.Steinmann, H.Schunk.* – Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. – 452 p.
16. *Siciliano Bruno.* Springer Handbook of Robotics / *Bruno Siciliano, Oussama Khatib.* – Berlin : Springer, 2008. – 1631p.
17. *Xiong Chiahua.* Fundamentals of robotic grasping and fixturing / *Chiahua Xiong, Han Ding, Youlun Xiong* – USA : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. – 229 p.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- дослідження у галузі механіки руйнування;
- технологія машинобудування.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування.

E-mail: kiril_v@mail.ru

МОРГУНОВ Роман Сергійович – випускник кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету, спеціаліст.

Наукові інтереси:

– автоматизований розв'язок задач між елементами технологічних роботизованих систем.

E-mail: jtx112@yahoo.com

Подано 12.01.2011

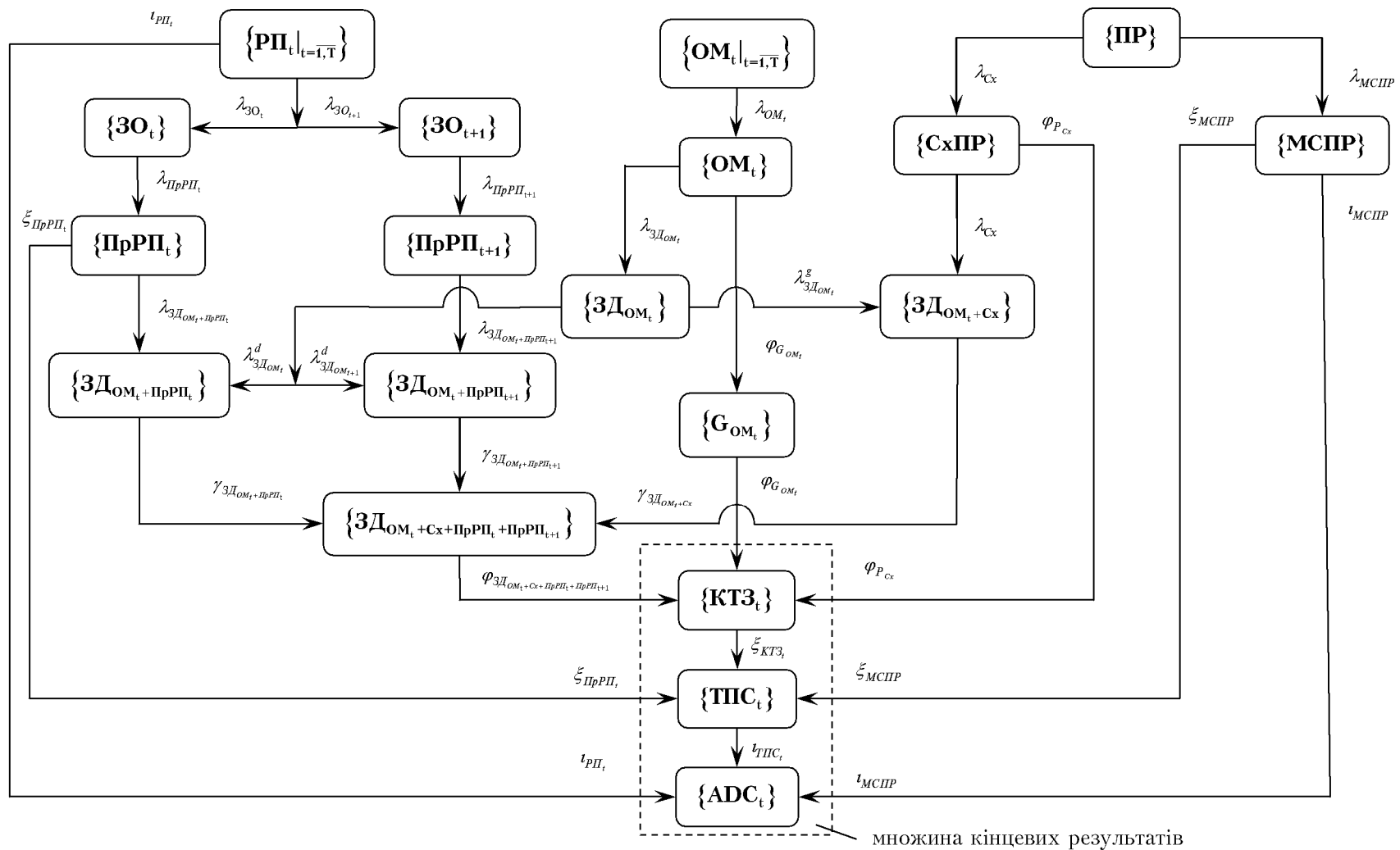


Рис. 3. Семантична модель технологічної взаємодії СхПР з ОМ

