

*Проектування технічних об'єктів машинобудування запропоновано розглядати як виробничий процес. Його модель будується за блочно-ієрархічним принципом з підходом «зверху-вниз». Основною для побудови прийнята модель виробничої операції як найменшої структурної одиниці усього технологічного процесу проектування. Запропонована модель є структурно-однорідною і забезпечує зручну та надійну програмну реалізацію*

*Ключові слова: система автоматизованого проектування, процес проектування, виробничий процес, інформаційна модель*

*Проектирование технических объектов машиностроения предложено рассматривать как производственный процесс. Его модель строится по блочно-иерархическому принципу с подходом «сверху-вниз» Основной для построения принята модель производственного задания как наименьшей структурной единицы. Предложенная модель является структурно-однородной и обеспечивает удобную и надежную программную реализацию*

*Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, процесс проектирования, производственный процесс, информационная модель*

# СИСТЕМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЕКТНОЇ ОПЕРАЦІЇ ЯК ЕЛЕМЕНТА ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ

**В. П. Захарченко**

Аспірант\*

E-mail: victorialT@ukr.net

**В. Г. Неня**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: nenja\_vg@mail.ru

\*Кафедра комп'ютерних наук

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2,

м. Суми, Україна, 40007

## 1. Вступ

Незважаючи на значні досягнення розвитку засобів обчислювальної техніки та інформаційних технологій, автоматизація проектувальних робіт на встигає за ростом продуктивності праці у машинобудуванні. П'ять десятиріч тому надію розв'язання цього протиріччя покладали на застосування систем автоматизованого проектування (САПР). Різноманіття типів машин та відповідні їм методи та алгоритми проектування не дозволили розробити і удосконалити основи САПР. Прискорення виконання окремих проектних процедур не гарантує прискорення виконання усього комплексу проектних робіт і досягнення системного ефекту через відсутність обґрунтованих алгоритмів та інформаційно-програмних засобів управління процесом проектування. З огляду на це пошук механізмів, на основі яких можуть бути розроблені інваріантні до об'єктів проектування засоби САПР, є важливим та актуальним.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Світова практика показує, що САПР продовжують розвиватися [1–10]. До основних тенденцій такого розвитку відносяться наступні:

– автоматизація п проектування поширюється на все нові об'єкти [1, 6, 9];

– для САПР опрацьовуються нові алгоритми проектування [2, 5];

– для складних об'єктів удосконалюються математичні моделі [3, 4, 8];

– для пошуку проектних рішень застосовуються методи штучного інтелекту [7, 10];

– досліджені системи налаштовані на проектування одного типу об'єктів, виробництво яких передбачається великими серіями [1–10].

Для багатьох галузей машинобудування характерним є виробництво достатньо не дорогих технічних об'єктів малими партіями. Такі підприємства мають потребу в САПР, які орієнтовані на проектування різного обладнання. Аналіз існуючих САПР показав, що алгоритми проектування, які ними підтримуються, орієнтовані і налаштовані на специфіку об'єкту проектування і постійно удосконалюються, забезпечуючи постійне зростання продуктивності проектувальників. Якщо підвищення продуктивності праці забезпечується використанням більш досконалих інструментальних засобів, то підтримання її на необхідному високому рівні забезпечується відповідними формами організації виробничого процесу і використанням цілеспрямованого та адаптивного керування суб'єктами, які задіяні у виробничому процесі [11]. Для сфери проектування у якості засобів автоматизації запропоновано використовувати САПР. САПР об'єднують у єдине ціле програмно-технічні комплекси проектування тех-

нічних об'єктів, супроводження та модернізацію самих САПР, а також засоби взаємодії із проектувальниками.

Теорія менеджменту розглядає декілька методів керування [12]: організаційний, економічний, правовий, розпорядчий, соціально-психологічний. Для реалізації цих методів, і перш за все організаційного, повинні виконуватися функції прогнозування, планування, організації, координування, регулювання, мотивації, обліку й аналізу. Їх можна реалізувати при наявності об'єктивної, оперативної та актуальної інформації. Це потребує розробки моделі даних процесу проектування та засобів керування даним процесом.

Проектування, як процес розробки проектної документації, проходить декілька стадій і регламентується нормативними документами [13]. Автоматизація проектування має достатньо давню історію. Результати розвитку на початкових її етапах відображено в багатьох роботах, найбільш характерними та такими, що узагальнюють набутий досвід, є роботи [14, 15]. У оприлюднених матеріалах достатня увага приділяється автоматизації виконання окремих проектних процедур, що було та залишається актуальним з точки зору проектувальників. Однак дослідженню питань функціонування САПР власне як системи, що реалізує виробничий процес проектування, увага не приділяється. Це зумовлює актуальність та практичне значення започаткованих авторами досліджень, адже моніторинг процесу проектування та власне прийняття управлінських рішень дозволить удосконалити управління проектуванням як виробничим процесом.

### 3. Ціль і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка однорідної інформаційної моделі процесу функціонування САПР, придатної для простої програмної реалізації.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

1. Встановити загальні риси процесу проектування на різних стадіях та фазах його реалізації.
2. Запропонувати єдину інформаційну модель для опису процесу проектування різних технічних об'єктів.

### 4. Результати дослідження процесу проектування

У даній роботі використовується системний аналіз [16, 17] процесу проектування об'єктів машинобудування. Найчастіше застосовується метод декомпозиції у відповідності до блочно-ієрархічного підходу та теорія множин.

Процес проектування будемо розглядати як систему, в якій на вході Виконавець отримує від Замовника технічне завдання (ТЗ), розробляє та приводить до необхідної форми проектне рішення, використовуючи відповідні ресурси (РЕС), які були виділені на виконання даного проекту, а на виході результатом виступає готовий проект (ПР) (рис. 1).

Відповідно до вимог принципу декомпозиції [18, 19] головну функцію системи проектування буде-

мо розглядати як сукупність послідовно реалізованих стадій: розробити ескізний проект, розробити технічний проект, розробити робочий проект. Оскільки на виробництві проекти, окремі стадії проектування та проектні операції не є однотиповими по суті робіт, що виконуються, то пропонується представити їх однотиповими інформаційними моделями як фази виробничого процесу. Даний концептуальний погляд розповсюджуємо на всі фази процесу проектування. Це дозволяє застосовувати й одну методологію до всього процесу проектування: від стадій проектування до виконання окремих проектних процедур.



Рис. 1. Загальна системна модель виконання проекту на виробництві

Виробничий процес проектного підрозділу по роботі кожного з проектів описуємо як сукупність процесів проектування протягом усіх стадій:

$$MP = \bigcup_{k=1}^K DP_k, \tag{1}$$

де  $MP$  – опис усього виробничого процесу,  $DP_k$  – опис окремого процесу проектування,  $K$  – кількість процесів проектування.

Сукупність описів окремих процесів проектування  $DP_k$ , які входять в модель (1), розглядаємо також як сукупність описів прийнятих стадій проектування:

$$MP = PT \cup OR \cup PSP \cup PEP \cup PWP, \tag{2}$$

де  $PT \cup OR$  – опис процесу виконання стадії розробки, погодження, затвердження технічного завдання та формування його електронного аналога,  $PSP$  – опис процесу виконання стадії ескізного проектування,  $PEP$  – опис процесу виконання стадії технічного проектування,  $PWP$  – опис процесу виконання стадії робочого проектування.

Процес кожної стадії розбивається на етапи у відповідності до технологічного маршруту проектування:

$$\begin{aligned} PSP &= \bigcup_{i=1}^{k_{ss}} PS_i; \\ PEP &= \bigcup_{i=1}^{k_{es}} PS_i; \\ PWP &= \bigcup_{i=1}^{k_{ws}} PS_i, \end{aligned} \tag{3}$$

де  $k_{ss}$  – кількість етапів ескізного проектування,  $k_{es}$  – кількість етапів технічного проектування,  $k_{ws}$  – кількість етапів робочого проектування,  $PS$  – опис процесу окремого етапу.

Кожен етап розбиваємо на проектні процедури:

$$PS = \bigcup_{j=1}^{k_p} PDP_j, \tag{4}$$

де  $PDP_j$  – опис процесу кожної проектної процедури,  $k_p$  – кількість проектних процедур в одному етапі проектування.

Опис процесу виконання кожної проектної процедури формується з описів процесів виконання проектних операцій:

$$PDP_j = \bigcup_{e=1}^{k_o} PDO_e, \tag{5}$$

де  $PDO_e$  – опис процесу проектної операції,  $k_o$  – кількість проектних операцій в одній проектній процедурі.




Будемо вважати, що кожна проектна процедура виконується за схемою: фаза планування, фаза проектування, фаза контролю та розглядається як система зі скінченною кількістю станів [19]. Це дозволяє моделювати її за допомогою наборів кортежів і розробити на цій основі програмно-інформаційні засоби [20, 21].

Технологічний ланцюг виконання проектної операції, який відповідає вимогам ЄСКД і впроваджений у виробництво, розглядається як сукупність операцій розробки, перевірки, нормоконтролю, техконтролю та затвердження.

У теорії виробничих процесів існує аналогічна до проектування класифікація процесів. Розглядаються відповідно стадії, як найбільш довготривалі, та виробничі процедури, як такі, які найбільш швидкоплинні і протягом яких виконуються технологічно закінчені виробничі процеси. Особливість проектування полягає у тому, що у процесах виконання проектних операцій задіяно декілька фахівців. Так, наприклад, при розробці креслення беруть участь п'ять фахівців: сам проєктант (конструктор), його безпосередній керівник (керівник групи або бригади), нормоконтролер, технолог і керівник проектного підрозділу або головний конструктор проекту. Їх взаємодія показана на рис. 2. У табл. 1 наведені використовувані умовні позначення.

Таблиця 1

Умовні позначення на графічних зображеннях моделей

Умовне позначення	Об'єкт, який моделюється
	Виконувана функція
	Організаційна одиниця
	Стан готовності виконуваного завдання
	Використовувані ресурси
	Технічне завдання
	Проектне рішення
	Перевірка запропонованого проектного рішення (проектного документу)

Кожен із кроків, зазначених на рис. 2, передбачає можливість доопрацювання проектного рішення або проектного документу, схема якого показана на рис. 3.



Рис. 2. Функціональна модель виконання проектної операції на виробництві



Рис. 3. Структурна модель опису одного кроку проектної операції

Для різних проектних процедур склад виконуваних робіт буде різним. Наприклад, технічне завдання, креслення, розрахунки мають різну кількість кроків проходження контрольних заходів. Тому проектну операцію представимо сукупністю відповідних виробничих операцій, на виконання яких плануються виробничі завдання:

$$PPO_e = \bigcup_{z=1}^{k_z} PV_z. \tag{6}$$

Опис процесу виконання виробничої операції представлено наступним кортежем:

$$PI_t = \langle id, MainTask, DS, Job, Person, Tstart, Tfinish, Rdb, Done, Kworks \rangle, \tag{7}$$

де  $PI_t$  – опис процесу виконання виробничої процедури,  $id$  – ідентифікатор конкретного виробничого процесу, під час якого процедура реалізується,  $MainTask$  – посилання на виробничу процедуру більш високого рівня, частина якої виконується на даній фазі реалізації проекту,  $DS$  – параметр, що фіксує статус даної виробничої функції по ступеню готовності проектного рішення,  $Job$  – посилання на вид проектної роботи, яка виконується: розрахунки, виконання креслень, розробка текстових документів тощо,  $Person$  – посилання на дані про виконавця процесу,  $Tstart$  – час початку виконання даної виробничої процедури,  $Tfinish$  – час закінчення виконання даної виробничої процедури,  $Rdb$  – позначення належності даної виробничої операції до складної проектної операції у проекті, виконан-

ня якого обліковується у даній виробничій процедурі, *Done* – позначення, яке характеризує готовність виконання відповідного виду робіт, *Kworks* – кількість доопрацювань по певному виду роботи.

Після завершення відповідного виду проектних робіт та зміни в базі даних параметру *Done* на «готовий» працівник передає свої результати на наступний крок проектної операції. У разі виявлення помилок завдання повертають Виконавцю на доопрацювання та змінюють статус готовності у параметрі *Done* на протилежний. Після доопрацювання вся процедура відбувається заново, але кожне доопрацювання заноситься в параметр *Kworks* для аналізу якості роботи працівників, досконалості методик, алгоритмів та програмних засобів проектування.

Опис проектної операції розробки креслення на виробництві, модель якої зображена на рис. 2, описується наступними кортежами:

$id_1, id_0, DS_1, Job_1, Person_1, Tstart_1, Tfinish_1, Rdb_0, Done, Kworks_1;$   
 $id_2, id_1, DS_2, Job_2, Person_2, Tstart_2, Tfinish_2, Rdb_1, Done, Kworks_2;$   
 $id_3, id_1, DS_3, Job_3, Person_3, Tstart_3, Tfinish_3, Rdb_1, Done, Kworks_3;$   
 $id_4, id_1, DS_4, Job_4, Person_4, Tstart_4, Tfinish_4, Rdb_1, Done, Kworks_4;$   
 $id_5, id_1, DS_5, Job_5, Person_5, Tstart_5, Tfinish_5, Rdb_1, Done, Kworks_5;$   
 $id_6, id_1, DS_6, Job_6, Person_6, Tstart_6, Tfinish_6, Rdb_1, Done, Kworks_6.$

Дана інформація обліковується у базі даних. Вона дозволяє відтворювати на моніторах керівників та менеджерів проектів поточний стан справ і є основою для прийняття ними управлінських рішень. Крім того, аналіз такої інформації, накопиченої при виконанні ряду конкретних проектів є основою формування бази знань для перспективного та поточного планування бізнес-процесів виконання проектних робіт.

## 5. Обговорення результатів представлення процесу проектування як сукупності виробничих операцій

Аналіз наведеної інформації, яка групувана у окремі кортежі, показує, що кожен елемент даних є атомарним, усі дані повнофункціонально пов'язані із ключем *id*, немає транзитивної функціональної залежності даних від ключа. Отже запропонована модель відповідає третій нормальній формі і може коректно реалізуватися за допомогою реляційної бази даних [22, 23].

У загальному випадку організації процес проектування крім власне проектування може включати стадії розробки, погодження, затвердження технічного завдання, стадії виконання науково-дослідних робіт та дослідно-конструкторських розробок. За необхідності вони можуть бути включені до обліку та управління як окремі складові за тією методикою, яка запропонована для інших стадій проектування.

Крім опису різних за складом проектних процедур та операцій запропонована інформаційна модель підтримує ієрархічну структуру їх входження у етапи та стадії проектування.

## 6. Висновки

Виконаний системний аналіз проектування технічних об'єктів з позицій виробництва дозволив виявити його найменшу складову – виробничу операцію, яка є біль дрібною ніж проектна операція. Запропоновано розглядати управління процесом проектування технічних об'єктів як виробничим процесом і організувати проектні операції як набір виробничих операцій. Це дозволяє типово організувати процеси проектування різних технічних об'єктів.

Запропонована інформаційна модель виробничої операції проектування дозволяє описувати реалізацію проектних процедур і операцій різної структури, підтримує ієрархічний характер структури об'єктів і процесів їх проектування. Це означає, що на основі запропонованої моделі створена можливість опису процесу проектування інваріантно до об'єкту проектування.

## Література

1. Arik, M. Development of CAD Model for MEMS Micropumps [Text] / M. Arik, S. M. Zurn, A. Bar-Cohen, Y. Nam et al. Technical Proceedings of the 1999. International Conference on Modeling and Simulation of Microsystem, 1999. – P. 651–654.
2. Chow, Y. L. Development of CAD formulas of integrated circuit components fuzzy EM formulation followed by rigorous derivation [Text] / Y. L. Chow, W. C. Tang // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 2001. – Vol. 15, Issue 8. – P. 1097–1119. doi: 10.1163/156939301x00445
3. Simolowo, E. O. The Development of CAD Software for Manufacturing Flat-Face and Roller Cam Systems [Text] / E. O. Simolowo // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 628. – P. 298–303. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.628.298
4. Aaen, P. H. On the development of CAD techniques suitable for the design of high-power RF transistors [Text] / P. H. Aaen, J. A. Pla, C. A. Balanis // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2005. – Vol. 53, Issue 10. – P. 3067–3074. doi: 10.1109/tmtt.2005.855129
5. Wei Peng, W. Computer-Aided Design Tools that Adapt [Text] / W. Wei Peng, J. S. Gero. – Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures), 2007. – P. 417–430. doi: 10.1007/978-1-4020-6528-6\_31
6. Ayodeji, S. P. Development of CAD Software for wheel chair design [Text] / S. P. Ayodeji, S. B. Adejuyigbe // Journal of Science and Technology. – 2008. – Vol. 28, Issue 3. – P. 82–93. doi: 10.4314/just.v28i3.33110
7. Zhang, L. The New Development of CAD in Clothing [Text] / L. Zhang, H. Zhang, Y. Li // Computer and Information Science. – 2008. – Vol. 1, Issue 3. – P. 104–106. doi: 10.5539/cis.v1n3p104
8. Matin, I. Development of CAD/CAE system for MOLD DESIGN [Text] / I. Matin, M. Hadžistevic, J. Hodolič, Dj. Vukelić, B. Tadić // Journal of Production Engineering. – 2010. – Vol. 13, Issue 1. – P. 61–64.