

**НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ  
ТА СИСТЕМ**

УДК 681.51:57

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ  
ДЛЯ ЕРГОНОМІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДІВ, СИСТЕМ ТА  
ОБЛАДНАННЯ**

*Бойко Т.А., Бойко Є.О., Черкаський державний технологічний університет,  
м. Черкаси, Україна*

*Розглядаються сучасні методи моделювання для ергономічного проектування приладів, систем та обладнання. Представлені результати порівняльного аналізу та рекомендації до застосування ефективних методів моделювання*

**Вступ. Постановка завдання**

У сучасній проективній ергономіці моделювання розглядається як один з основних методів, що дозволяє проводити ергономічні дослідження різних елементів систем «людина-машина» (СЛМ) на різних етапах проектування.

Порівняльний аналіз ергономічних методів моделювання і визначення їх недоліків та переваг необхідні для чіткої орієнтації ергономістів (дослідників та проектувальників).

Такий аналіз створюється уперше, що необхідно у виборі методів моделювання і технічних засобів їх реалізації, можливості планування й організації проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

**Основні типи методів ергономічного моделювання**

В залежності від способу реалізації методи ергономічного моделювання можна розподілити на такі групи:

- напівнатурне моделювання (ННМ);
- метод вербального опису системних операцій (сценарій);
- графічні методи;
- методи математичного моделювання;
- цифрове моделювання людини.

Напівнатурне моделювання проводиться паралельно із розробкою робочої документації на дослідні зразки. Напівнатурна модель повинна містити всі основні елементи підсистеми «людина-оператор (ЛО) – прилад», імітатори майже всіх суміжних із приладом компонентів СЛМ та контрольно-записуючу апаратуру. При здійсненні ННМ виконується повний цикл заходів з ергономічного експертування, ергономічної оптимізації та внесення всіх змін у структуру та конструкцію СЛМ [4].

Сценарій у вигляді вербального опису типових послідовностей системних операцій є самим простим засобом для узагальнення інформації, необхідної для аналізу функцій СЛМ [8], та оптимальним з огляду на витрачені кошти. У сце-

нарії можна врахувати як нормальні умови діяльності, так і можливі (і найбільш важливі) позаштатні ситуації. Розробка сценарію доцільна при міждисциплінарній співпраці фахівців і дозволяє їм знайти порозуміння ще до виникнення концепції, сформованої ідеї, до появи «проекту».

Метод алгоритмічного опису діяльності оператора (представлення процесу діяльності у вигляді припису, що визначає зміст і послідовність дій оператора, які ведуть до виконання поставленого завдання в СЛМ) застосовується при вивченні порівняно простих видів операторської діяльності. Для запису алгоритму застосовуються дві основні форми: логічна схема алгоритму (ЛСА) та блочна схема алгоритму (БСА) [9]. За способом представлення інформації – це графічні методи.

В ЛСА (1) великими латинськими літерами позначаються «оператори», малими літерами – логічні умови, які визначають вибір того чи іншого оператора. Кожна логічна умова має два логічних виходи. Від кожного символу логічної умови починається нумерована стрілочка ( $\uparrow$ ), яка закінчується біля якогось іншого члена ( $\downarrow$ ). У відповідності з розглянутими правилами та позначеннями логічна схема алгоритму роботи оператора може виглядати таким чином:

$$L = \downarrow A_1 A_2 A_3 A_4 P_1 \uparrow A_5 \omega \uparrow \downarrow A_6 \downarrow P_2 \uparrow A_7 \quad (1)$$

В БСА «оператори» позначаються прямокутниками, а логічні умови – ромбами. Всередині кожного прямокутника і ромба записується зміст даного члена алгоритму. Якщо логічна умова виконується, управління передається за стрілкою „Так”. Якщо ця умова не виконується – за стрілкою „Ні”.

Аналіз схеми алгоритму дозволяє отримати деякі кількісні характеристики трудового процесу: показники стереотипності, логічної складності. Моделі, розроблені у вигляді алгоритмів, належать до класу образно-знакових моделей [7].

Операційно-логічна (ОЛ) та предметно-функціональна (ПФ) моделі у вигляді графа застосовуються в залежності від особливостей інтерпретації поняття елементарної операції, способу кодування операцій і їх частоти.

Якщо множину елементарних операцій, з яких складається алгоритм діяльності розбити на підмножини сенсорних (аферентних), моторних (еферентних) і логічних (центральных) операцій, тоді операційно-логічною (ОЛ) моделлю буде граф, вершини якого суть коди сенсорних, моторних і логічних операцій, а дуги (стрілочки) – це імплікації, які характеризуються частотою, рис.1 [12].

В цій системі керування вирішується задача «змінити вихід продукту на задану величину». У формі ЛСА ця задача буде мати вигляд:

$$L = \downarrow z_1 z_2 q_1 \uparrow \downarrow x y q_2 \uparrow \downarrow u \omega \uparrow, \quad (2)$$

де  $z$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $u$  – поточні значення параметрів, які складають матрицю (рис. 1).

ОЛ-моделі різних рівнів можуть використовуватись для психофізіологічного аналізу діяльності, для складання посадових інструкцій, для розробки навчальних завдань і тренажерів при підготовці фахівців.

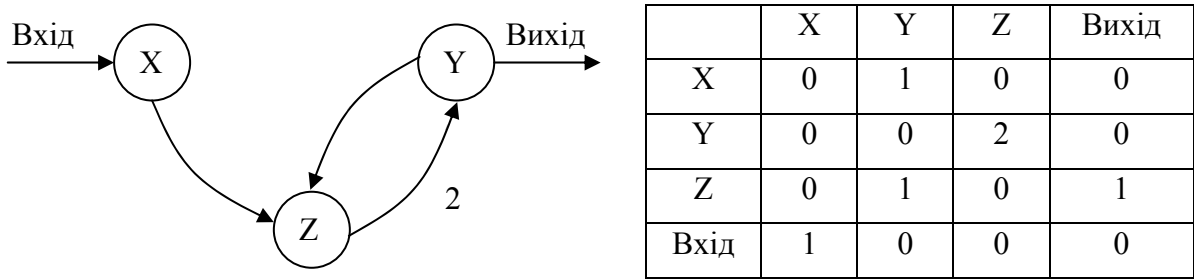


Рисунок 1 - Орграф та матриця суміжності

Крім того, ОЛ-модель є основою для розробки предметно-функціональної моделі, яка теж має вигляд графа (рис. 2).

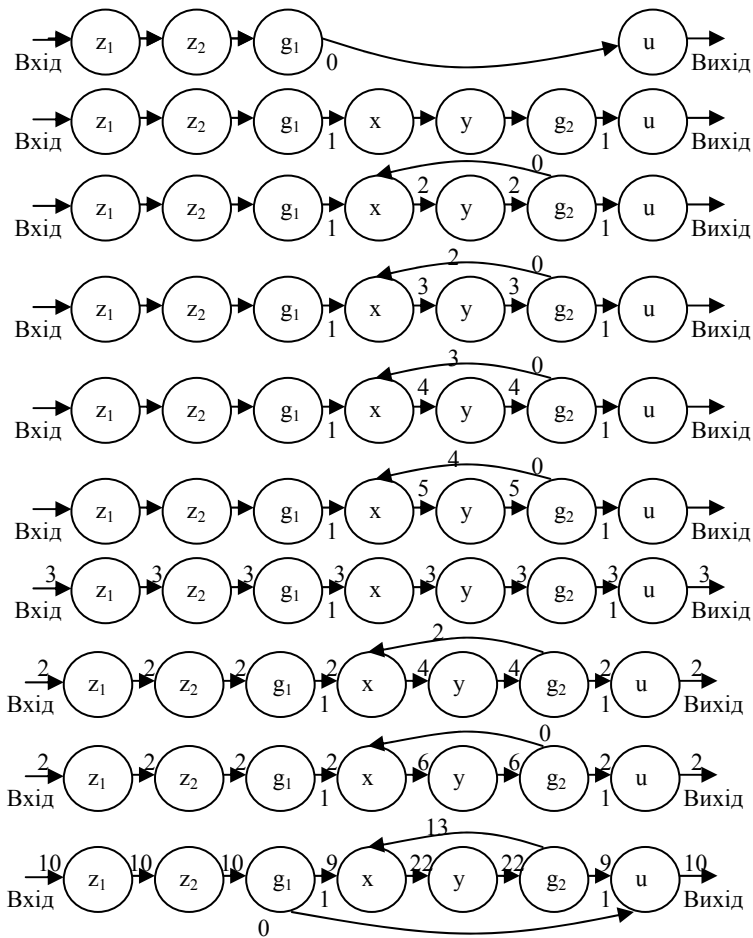


Рисунок 2 – Графи реалізації алгоритму (2)

Циклограма функціонування підсистеми «ЛО – прилад» у вигляді «мікроелементного аналізу» у кожній з гілок наміченого алгоритму функціонування створеної підсистеми «ЛО – прилад» [5] наочно показує погодженість елементарних операцій ЛО з оперативними органами приладу і дозволяє розрахувати проєктовані часові витрати на взаємодію, а також оцінити очікувану темпову напруженість діяльності в конкретному режимі функціонування підсистеми.

Графічне моделювання, яке здійснюється за розробкою образно-знакових

моделей – ергономічних схем інформаційних потоків, схем алгоритмів роботи ЛО, загального ергономічного виду приладу (геометрична модель), – проводиться на всіх етапах ергономічного проектування (технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект). Приклад наведений на рис. 3 [1 - 3].

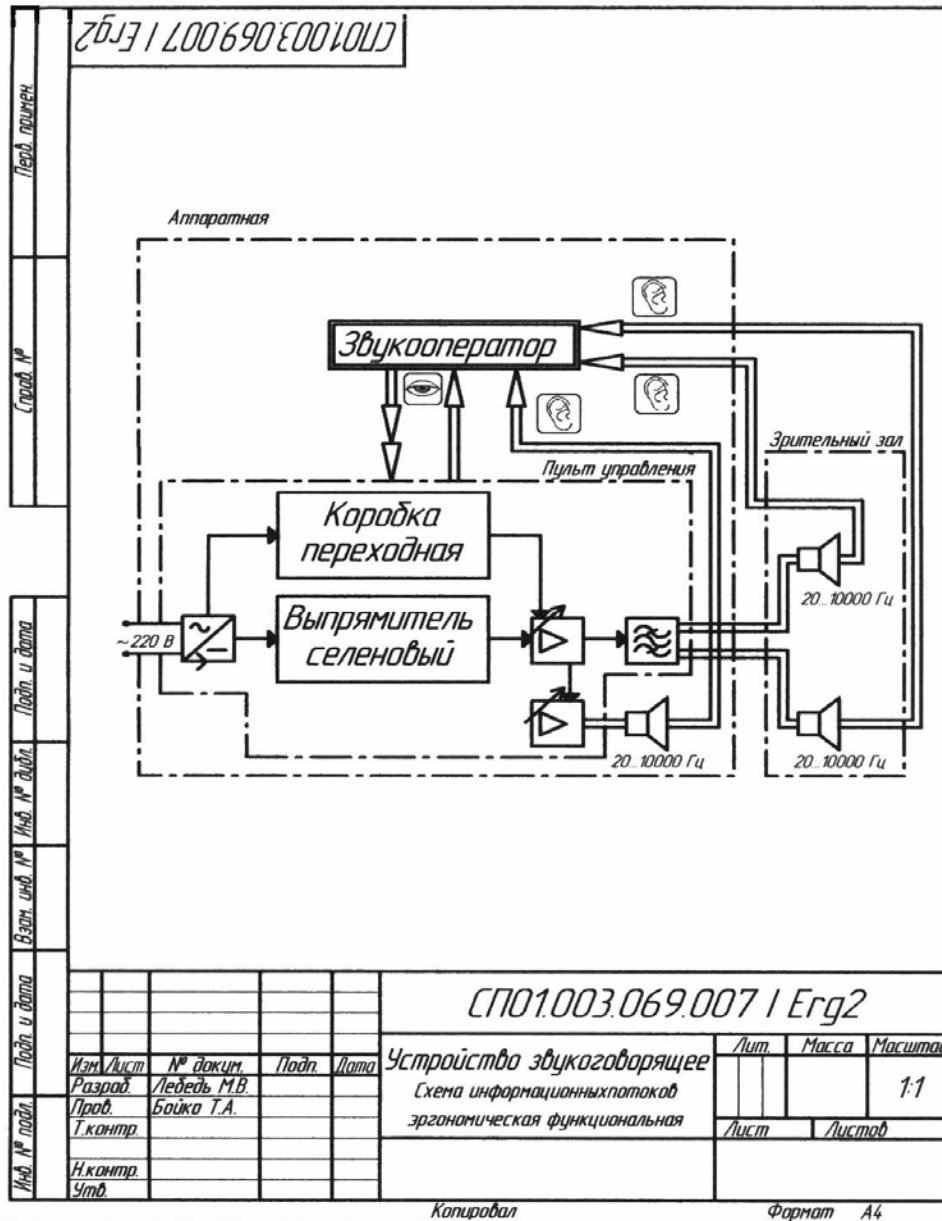


Рисунок 3 – Пристрій гучномовний. Схема інформаційних потоків ергономічна функціональна. I Erg 2

Комплекти документів ергономічного проекту «Схеми інформаційних потоків ергономічні», «Схема алгоритму роботи оператора», «Вид загальний ергономічний» розроблюються як графічне відображення інформаційної моделі СЛМ, дають змогу оцінити велику кількість ергономічних характеристик системи, візуально представляють зв'язок між елементами конструкції та діяльністю ЛО [10].

Соматографія – це метод техніко-антропометричного аналізу статички та динаміки робочих поз людини, який полягає в сумісному зображенні тіла людини та елементів технічних засобів в ортогональних площинах методами технічного креслення. Такі зображення мають назву соматограмм (рис. 4) [6].

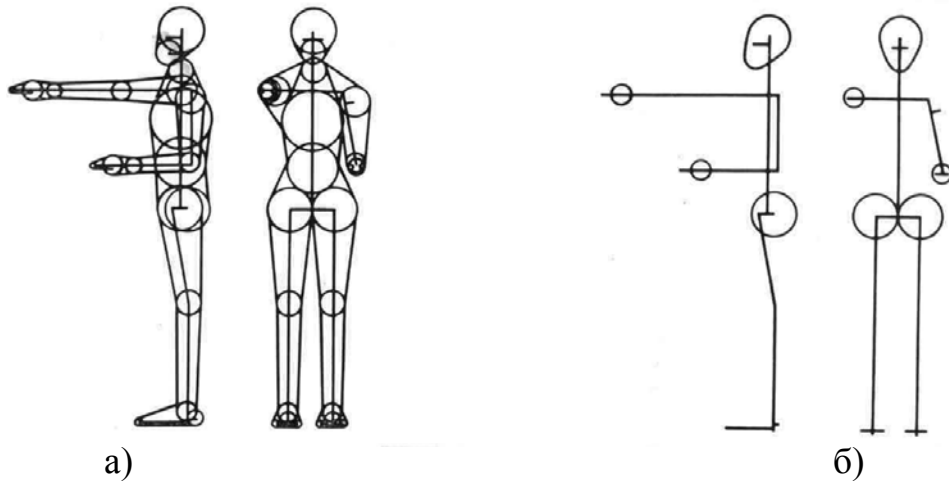


Рисунок 4 – Апроксимована та шарнірна геометричні моделі ЛО

Цифрове моделювання людини [2, 8] є останнім досягненням антропометричного проектування – це комп’ютерна розробка моделей робочого середовища і моделі людини за допомогою різних програм цифрового моделювання людини (Digital Human Modeling) (ЦМЛ) (рис. 5). На цих моделях аналізуються ергономічні характеристики: величина зон досяжності; робоча зона оператора; оглядовість пульта управління; допустимі значення мас для підйому, опускання, переносу; комфортність робочої пози; час виконання окремих операцій.

Математичне моделювання діяльності людини-оператора може здійснюватись методами лінійного програмування.

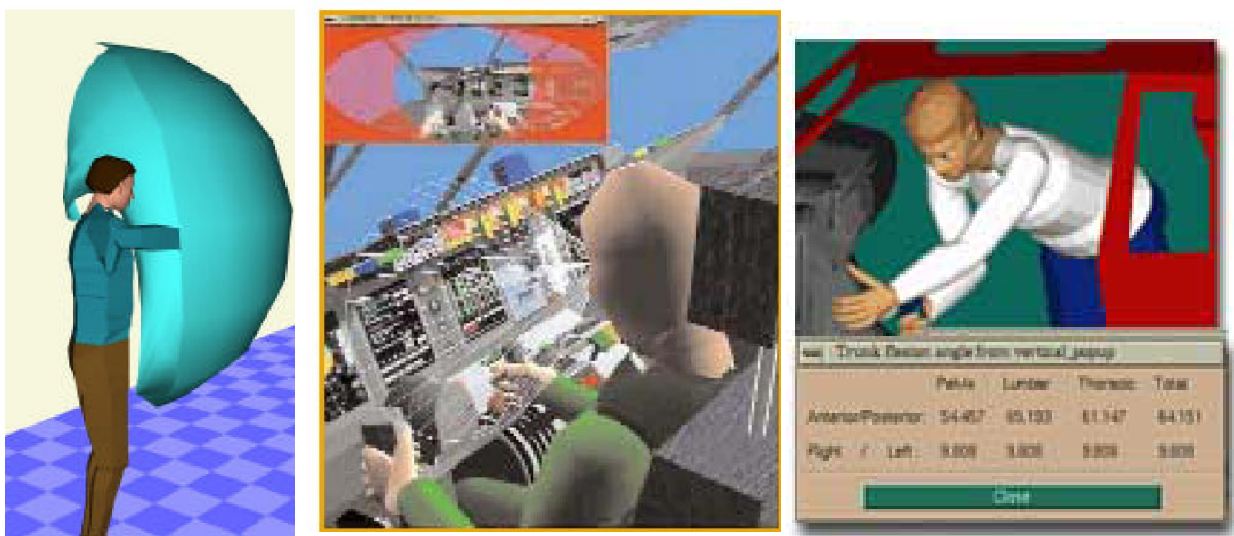


Рисунок 5 – Фрагменти ергономічного аналізу із застосуванням програм ЦМЛ

Графічний метод застосовується при постановці задачі, наприклад, двопараметричної, якщо відомі конструктивні параметри приладу або обладнання, і проводиться оптимізація розташування засобів відтворення інформації та органів керування, компоновка робочого місця. Метод Монте-Карло застосовується для імітації ймовірно - часових характеристик діяльності оператора [8, 11].

Результати порівняльного аналізу зведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Перелік основних якісних показників методів ергономічного моделювання**

<b>Метод моделювання</b>	<b>Позитивні якості</b>	<b>Недоліки</b>
Напівнатурне моделювання	Можливість проведення повного циклу всіх ергономічних досліджень.	Дуже великі витрати часу та коштів.
Графічне моделювання: – соматографія; – операційно-логічна та предметно-функціональна модель у вигляді графа – циклограма  – образно-знакові моделі: схеми інформаційних потоків, схема алгоритму діяльності ЛО, вид загальний ергономічний.  Логіко-алгоритмічний опис: БСА ЛСА	Наочність Наочність  Наочність, можливість оцінки функціонування системи. Наочність і простота побудови, спрямованість потоків інформації в контурах ланцюгах СЛМ, розподіл функцій між людиною і технічними компонентами зв'язок з технічною документацією.  Наочність Компактність	Складні в реалізації. Потребують спеціальної підготовки, складні у виконанні, не показують зв'язок з конструкцією СЛМ.  Складність побудови, слабкий зв'язок з конструкцією та проектною документацією. Необхідна спеціальна підготовка, але загалом навички побудови освоюються легко.  Неефективні у застосуванні для складних приладових систем, в яких більш ніж 3 органи керування та засоби відтворення інформації.
Математичне моделювання	Можливість опрацювання величезної кількості варіантів, точність, швидкість обробки інформ.	Складність розробки цільових функцій для адекватного відображення діяльності людини, необхідність мати велику інформаційну базу.
Сценарій (вербальний опис системних операцій)	Простий і доступний, сямий дешевий	Відсутня наочність, можливе неоднозначне розуміння.
Цифрове моделювання людини	Висока точність, велика варіативність.	Висока ціна (3 000 – 70 000\$).

## Висновки

Проведений порівняльний аналіз найбільш застосованих сучасних методів моделювання для ергономічного проектування приладів, систем та обладнання необхідний для проведення подальших досліджень ергономічного проектування.

Рекомендується на різних етапах ергономічного проектування застосовувати графічний метод побудови образно-знакових моделей, як найбільш економічно ефективний, наочний, простий в опануванні.

## Література

1. Бойко Т.А., Бойко Є.О. Принципи і методи створення образно-знакових моделей для побудови інформаційних моделей систем „людина-машина” // 3-я НПК „Приладобудування 2004: Стан і перспективи”. Зб. Наук. праць. 20-21 квітня 2004 р., м. Київ, Україна. - С. 62.
2. Бойко Т.А., Бойко Є.О. Сравнительный анализ программ цифрового моделирования человека // Вісник ЧДТУ. – 2003. – №1. - С. 8–13.
3. Бойко Т.А., Бойко Є.О., Лукашенко В.М. Схемы информационных потоков эргономические – средства графического документирования информационных моделей системы “человек-машина” // “Вісник ЧДТУ”. – 2003 – № 2. – С. 11–16.
4. Борисюк А.А. Эргономика в приборостроении. –К.: Техніка, 1985. – 167 с.
5. Войненко В.М., Мунипов В.М. Эргономические принципы конструирования. – К: Техніка, 1988. – 119 с.
6. Кудрявцев А. М. Машинная графика в эргономическом проектировании. // Техническая эстетика. – 1987. – № 9. – С. 10–13.
7. Лебедев А. Н. Моделирование в научно-технических исследованиях. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
8. Мунипов В.М., Зинченко В. В. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: Учебник. – М.: Логос, 2001, – 356 с.
9. Основы инженерной психологии / Под. ред. Б.Ф. Ломов. – М.: Высш.шк., 1977 - 335с.
10. Стандартизація документування в ергономічному проектуванні контрольно-вимірвальних приладів та систем / Бойко Т.А., Бойко Є.О., Корпань Я.В., Івченко П.А., Марченко С.В. // Вісник ЧДТУ. – 2002. - № 2. - С. 46-51.
11. Фролов В.А. Анализ и оптимизация в прикладных задачах конструирования РЭС: Учеб. пособие. – К.: Выща шк., 1991. – 310 с.
12. Хрестоматия по инженерной психологии / Под. ред. Б.М. Душкова. – М.: Высш.шк., 1991. – 287с.

<p><b>Бойко Т.А., Бойко Е.А. Сравнительный анализ методов моделирования для эргономического проектирования приборов, систем и оборудования</b></p> <p>Рассматриваются современные методы моделирования для эргономического проектирования приборов, систем и оборудования. Приводятся результаты сравнительного анализа и рекомендации применения эффективных методов моделирования</p>	<p><b>Boyko T.A., Boyko E.A. Comparative analysis of methods of design for the ergonomics planning of devices, systems and equipment</b></p> <p>The modern methods of design for the ergonomics planning of devices, systems and equipment are examined. The results of comparative analysis and recommendation for application of effective methods of design are brought over</p>
---	---

Надійшла до редакції  
20 червня 2006 року