

## 1. РОЗДІЛ 7

### 2. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ САМООРГАНІЗАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

**Мета розділу.** Існують розвинені методики організації робочого місця [203,247,253,286], виробничого середовища [220,221,229,237], вартісної оцінки ефективності [40,72,176]. Врахування інтуїтивних аспектів операторської діяльності, засобів впливу на психоемоційний стан оператора, відповідних форм кодування так, як це передбачає розроблена в попередньому розділі концепція ІСВІ, – ось те нове, що має бути внесено в практику проектування. З іншого боку, слід оптимізувати сам процес проектування, приділивши увагу: збору й аналізу попередньої інформації; генерації варіантів рішень; оцінці та вибору оптимального рішення; документуванню; проведенню експертизи. Деякі з цих операцій мають розвинені засоби автоматизації. Найменш формалізованими і найбільш творчими залишаються генерація варіантів, багатокритеріальна оптимізація, експертиза остаточного рішення. Вони будуть розглянуті в першу чергу. Позитивний ефект може бути досягнутий, якщо вдасться обмежити число аналізованих варіантів, зберігши потенційно найкращі (скорочення потреби в ресурсах і часі), і теоретично обґрунтувати, що обране рішення дійсно є найкращим (скорочення числа експериментів). Для цього необхідно розв'язати **задачі:**

- 1\* формалізації цілі проектування і оцінки різномірних показників;
- 2\* евристичного пошуку варіантів рішень;
- 3\* порівняння варіантів;
- 4\* експертизи кінцевого рішення.

**Методична база** включає: теорію самоорганізації, метод інтуїтивного конструювання і теоретико-експериментальні методи, об'єктні моделі структури ЕС і дій оператора, рекомендації розділів 5 і 6, метод експертних оцінок.

**Засобами верифікації** є порівняння з даними досліджень, існуючими методиками і нормативами, зразками-аналогами.

## 7.1. Проектування як формування об'єктної моделі

Необхідним є «психологічний» погляд на процес проектування<sup>1</sup>, а саме.

Творчі аспекти проектування розглядаються як акт інтуїтивного конструювання, тобто встановлення тернарної зв'язки між суб'єктом і об'єктом проектування. Сп розуміється як границя, формування якої обумовлює виділення проектованого О; в ході самоорганізації об'єкт здобуває все більш розвинені набори характеристик. У силу двоїстості Сп є не тільки апаратом ТЗ, але і моделлю С і О: Сп є цілісним, а наявні в його складі узгоджені Сп<sup>+</sup> і Сп<sup>-</sup> розглядаються, згідно (5.1-5.4), як людський і машинний компоненти ЕС. Тому його структура відповідає схемі ЕС (рис.5.4) і є її моделлю.

Таким чином, проектування є інтуїтивним формуванням Сп і «створенням» його об'єктної половини – обладнання ЕС – виходячи з цілісності Сп і їхньої власної упорядкованості в рамках Сп<sup>-</sup>, що виражається схемою:

$$\begin{array}{c}
 \{OM\} \\
 \uparrow \\
 U \rightarrow (C \rightarrow Cn \rightarrow O) \\
 \downarrow \uparrow \\
 Ц,
 \end{array}
 \tag{7.1}$$

де Ц – ціль проектування.

Вплив проектованого, а не вже існуючого О, на формування Сп здійснюється через посередництво ОМ, а також змін С. Документовані результати цього процесу постають у вигляді інваріантів і калібрувань Хм і ОМ Сп.

Кожний з етапів проектування, за переважними особливостями, може бути зіставлений із сприйняттям, розпізнаванням, прийняттям рішення і управлінням.

---

<sup>1</sup> Термінологічна збіжність з так званими «проективними методами» психології (підрозділ 8.1.) не є випадковою.

Але й узятий сам по собі, включає ті ж акти, що дозволяє використовувати МЛС та інші моделі для дослідження процесу проектування.

**7.1.1. Операції проектування. Послідовність і взаємозв'язок головних етапів проектування** подано на рис.7.1. Коротко прокоментуємо її особливості.

Підготовка і представлення вихідних даних	1
Генерація варіантів компоунання	2
Оптимізація компоунання (вибір схеми, визначення ваг, розрахунок ЦФ, вибір варіанту) Перевірка за технічними умовами	3
Визначення пропорцій одиниць компоунання (розрахунок потенціалів, обчислення ЦФ, вибір варіанту)	4
Визначення розмірів (калібрування, розрахунок, вибір рішення) Перевірка за антропометричними даними	5
Заходи управління станом оператора (дизайн пульту і середовища, рухи, зусилля, зовнішні впливи) Перевірка за нормативними вимогами	6
Оптимізація інформобміну (визначення кодів, символів, кольорів, підказів, темпу, дій управління, ЦФ) Перевірка за часом фіксації і часом підсобних дій	7
Документування, виготовлення макетів і зразків	8
Натурні вимірювання і експерименти	9
Перевірка за даними вимірювань	
Рекомендації по підготовці операторів	10
Експертна оцінка	11
Перевірка за результатами оцінки	
Кінець	

Рис. 7.1. Послідовність проектування

Блок-схема описує послідовність вирішення геометричних задач компоунання, визначення розмірів, управління станом оператора, оптимізація

інформобміну і т.п., але не операцій розрахунку теплофізичних, енергетичних і інших характеристик, конструювання і технологічної підготовки виробництва.

1. Ціллю збору і наступного аналізу інформації є представлення її у вигляді, зручному для інтуїтивного конструювання, а також визначення даних для здійснення необхідних калібрувань. Формується первинна ОМ. Техніка її використання розглядалася в підрозділі 2.4.

2. Головним засобом генерації варіантів компонування є інтуїтивне конструювання, як послідовність актів інтуїтивного сприйняття, розпізнавання і формування одного або кількох цілісних образів. Впорядковується цей процес за допомогою РЗ- діаграм, відповідних сценаріям (5.1-5.4). Сказане не виключає інших обґрунтувань компоновочних схем – дій за аналогією з існуючими зразками, особистого досвіду проектувальника і т.д. Інваріантами є сценарії самоорганізації, об'єктними моделями – С- графи і РЗ- діаграми, які дозволяють виразити розподіл і належність компонентів шарам Сп.

3. Ціллю оптимізації є задоволення умовам цілісності. Вагові коефіцієнти визначаються окремо для кожного шару. Цільова функція відбиває відхилення від топологічних умов цілісності. Інваріанти і моделі такі ж, як і для блоку 2.

4. Продовжується відбір варіантів, виходячи з результатів перевірки на виконання умов цілісності у відповідності з розрахунковим розподілом потенціалів. Цільові функції (ЦФ), свої для кожного шару, відбивають відхилення фактичного розподілу потенціалів від умов цілісності. Відносні розміри зон розміщення й елементів визначаються за величиною потенціалів.

5. Визначення абсолютних величин інтерпретується як серія калібрувань відносних розмірів елементів і зон розміщення за антропометричними даними, умовами надійного сприйняття і т.п. Відібрані варіанти перевіряються за вимогами техніки безпеки. ЦФ виражають відхилення фактичних розмірів від розрахункових. Вихідна модель виражає абсолютні розміри компонентів.

Блоки 3-5 зіставляються з прийняттям рішення і моделюються на основі МРР. Вони завершують перший цикл перевірок суб'єктивних (Сп<sup>+</sup>) моделей за об'єктивними (Сп<sup>-</sup>) критеріями. Оскільки умови цілісності визначаються для

геометричних форм, вони відповідають 4-му рівню організації і при зіставленні з іншими характеристиками повинні множитися на відповідний коефіцієнт.

6. Управління станом оператора включає комплекс заходів, спрямованих на компенсацію емоціогенних факторів, підтримку активності нервової системи і забезпечення комфортних умов по температурі, вібраціям, тощо. Застосовуються різні ОМ, МС і МРР. При порівнянні мають враховуватися вагові коефіцієнти. Умови цілісності перевіряються для 5-8 рівнів організації. Результуюча ОМ представляється у вигляді креслень, пояснювальних записок і макетів.

7-8. Оптимізація інформаційного обміну має на меті його скорочення і приведення форми повідомлень у зручну для опрацювання форму, а дій управління – у відповідність з інтуїтивно обумовленими реакціями і рефлексами. Застосовуються МС і МУ; у результуючих ОМ зростає доля натурних моделей.

9-10. Цілями натурних вимірювань є:

5\*перевірка правильності дій оператора за умов обмеження в часі;

6\*видача рекомендацій по поліпшенню підготовки операторів;

7\*порівняння експлуатаційних показників із існуючими зразками.

За результатами можлива корекція проектних рішень.

9-ий і 10-ий блоки продовжують цикл перевірок моделей за об'єктивними показниками. Розробка завершується виготовленням промислового зразку.

11. Проводиться експертна оцінка ергономічності системи.

**Вартісна оцінка (S).** Розрахунок економічної ефективності ЕС є складною задачею; він включає: визначення ефективності удосконалень технічних компонентів [176] і виробничого середовища [72], а також інженерно-психологічних заходів [247,с.148-165]. Введемо спрощену оцінку [126]:

(7.2)

де  $S_s$  – вартість системи, що включає витрати на проектування і виготовлення устаткування, а також навчання операторів;  
 $S_e(t)$  – експлуатаційні витрати за час  $t$ ;  
 $S_a(t)$  – витрати на ліквідацію наслідків аварій, при природній умові

(7.3)

де  $T$  – період експлуатації системи.

У свою чергу, витрати на проектування  $S_p$  включають

(7.4)

де  $s_1$  – зарплатня проектувальників за час проектування ЕС;  
 $s_2$  – витрати на матеріали й устаткування;  
 $s_3$  – вартість натурних експериментів;  
 $s_4$  – інші (накладні і т.д.) витрати.

Витрати на навчання складають: вартість розробки технологій підготовки, видатки на устаткування, зарплатню персоналу. Необхідно врахувати також планові і непередбачені експлуатаційні витрати і кошти на ліквідацію наслідків аварій. Як бачимо, ряд статей видатків носить передбачуваний або ймовірнісний характер; можливі також непоправні втрати, наприклад, при катастрофах, що спричинили людські жертви. Звідси випливає, що повна вартість може бути підрахована лише в тих випадках, коли є масовий і завершений досвід експлуатації. Також не завжди може бути визначена міра економічної ефективності, наприклад, при створенні систем, що наділені унікальними характеристиками.

Тому вартісні оцінки доцільно застосовувати стосовно існуючих зразків, до окремих компонентів, при порівнянні варіантів однієї системи, де оцінки спираються на тотожні методики. Для систем із схожими експлуатаційними характеристиками і рівним ступенем безпеки, маємо просту формулу

(7.5)

де  $\Delta_1$  – різниця вартості порівнюваних систем, що включає:  
 $\Delta_s$  – різницю у вартості устаткування і  
 $\Delta_e$  – різницю у вартості експлуатації.

**7.1.2. Збір і класифікація передпроектної інформації.** Як відзначається в [4,56,286], пошук попередньої інформації про проєктовану систему є самостійною задачею, вирішення якої потребує розробки спеціальних методик [4,5,100]. Особливі труднощі викликає «витягування» інформації з операторів та інших спеціалістів [56]. Деякі сторони цього розглядаються у 8-му розділі.

У той же час, добре підготовлена інформація зменшує загальну трудомісткість проєктування. Тому в [137,с.78-79] були докладно охарактеризовані джерела інформації і відомості, які підлягають з'ясуванню. Відтак, обмежимося конкретним прикладом.

**Задача 7.1.** *Визначення даних для проєктування пульта криогенної паливної системи (КПС).*

*Постановка.* Розробка здійснювалася в ході НДР «Ергономічні рекомендації до конструкторської документації по розміщенню й експлуатації ПНК і КПС виробу ТУ-156» №328-Х93. Необхідно було підвищити безпеку, скоротити розміри, зменшити кількість операторів. Не повинні були змінюватися рішення по організації управління системою. Через великий об'єм і різномірність задіяних даних необхідним було їх попереднє опрацювання.

*Розв'язання.*

1. Джерела і збір інформації. Використовувалися:

- 8\* проєктне завдання;
- 9\* зразок-аналог (рішення 1989 р., рис.7.2 і розділи пояснювальної записки «Робота двигуна НК-89 на авіаційному метановому паливі»);
- 10\* дані звітів про планування кабіни і діяльність екіпажа, включаючи результати опитування випробувачів КПС;
- 11\* нормативні документи і спеціальна література.

- перемикачі
- інформаційні  
табло
- пристрої  
регулювання
- контрольні  
лампи

Рис. 7.2. Вихідне рішення пульту КПС

2. Склад інформації. Збиралися дані про: компонування кабіни й організацію системи управління; послідовність роботи КПС і повідомлення, що видаються; автоматичні і автоматизовані операції; параметри інформаційного обміну; критичні та аварійні ситуації; дії операторів КПС; обмеження за технікою безпеки й ергономічні; характеристики застосовуваних органів управління.

**Класифікація й обробка** зібраних даних провадиться за порядком побудови ОМ, тобто:

1. Виділяються відомості щодо взаємодії системи з навколишнім середовищем. Вони використовуються для побудови МЛС.

2. Виділяються дані щодо організації системи і компонентів. Подальше групування відбувається за рівнями організації. Наприклад, відомості, що характеризують цілісність, структуруються так: кількість незалежних підсистем і число операторів – рівні 1 і 2; дані по операторам та устаткуванню –  $Сп^+$  і  $Сп^-$ ; ОУ – рівень 5; СВІ – рівні 5-7 і т.д.

3. Встановлюються відповідності між елементами, що належать рівням  $Сп^+$  і  $Сп^-$  з однаковими номерами, наприклад, кількостями незалежних підсистем і операторів (розділ 5); ступенями свободи кінцівок і рухами ОУ (розділ 6) і т.п. Вони характеризують сумісність компонентів.



4. Виділяються дані, що якісно характеризують процеси обміну між операторами й устаткуванням ( $C_{п+}$  і  $C_{п-}$ ), усередині колективу операторів, між різними системами обладнання. Подальша градація провадиться за рівнями організації системи. Ці відомості використовуються при побудові МС, МРР і МУ.

5. Впорядковуються кількісні і динамічні характеристики процесів обміну, також використовувані при побудові МС, МРР, МУ.

6. Для кожної з груп додаються дані, що для калібрування (граничні припустимі значення характеристик, вимоги техніки безпеки, тощо).

7. Рекомендується побудувати РЗ- діаграму, яка показує належність даних і груп, а також послідовність класифікації.

8. При наявності зразків-аналогів провадиться комплексний аналіз їхньої безпеки й ефективності і виявляються критичні зони.

### **Задача 7.2.** *Класифікація і опрацювання передпроектних даних для КПС.*

*Постановка.* Необхідно класифікувати розглянуті в задачі 7.1. дані і надати їм зручної для проектних дій форми.

#### 1. Класифікація даних. Групування проводилося за такими номінаціями:

1) відомості про взаємодію СУ КПС з іншими СУ повітряного судна, а також про розмежування обов'язків та інформаційний обмін всередині екіпажа;

2) дані про організацію і роботу КПС: для операторів – розподіл функцій, характеристики сприйняття, обмеження часу ухвалення рішення, дії управління; для системи – режими функціонування, операції, компонування інформаційної підсистеми, склад і розміри інформаційних приладів і ОУ, форми повідомлень, переміщення ОУ, застосовувані матеріали, обмеження за технікою безпеки й інші обмеження; для СВІ – відображувані параметри, формати даних, коди, характеристики освітленості, підсвічування, колористичні рішення.

2. Опрацювання інформації. Виконувалися: побудова інформаційної моделі у вигляді діаграми; побудова графів, що відбивають послідовність технологічних операцій і видач повідомлень для кожного з режимів роботи КПС (наприклад,

граф для режиму заправки палива показано на рис.7.3); комплексна оцінка безпеки кожного режиму з метою виявлення критичних ситуацій.

– повідомлення

– операція

Рис. 7.3. Послідовність операцій заправки палива

*Коментар.* Інформація представлена в зручній для пошуку проектних рішень формі.

Завершенням обробки інформації є її вміщення в базу даних (БД), архітектура якої пристосована для проектування згідно блок-схеми на рис.7.1. У свою чергу, розробка БД є першим етапом автоматизації.

**Задача 7.3.** *Організація бази даних проектувальника ЕС.*

*Постановка.* Запропонуємо структуру БД, що дозволяє представляти дані у виді, зручному для проектування. Будемо акцентувати увагу на загальній ідеї представлення даних.

*Розв'язання.*

1. Структура бази даних показана на рис.7.4а. Програма управління повинна забезпечити внесення, пошук, витяг записів, реалізацію посилань, вказівок, переходів і прав доступу. Дані про компоненти, елементи, операції і взаємодії розподіляються по гілках, рівнях і записах відповідно класифікації, ролі в процесі проектування, послідовності операцій так, як було описано вище. Встановлюються відповідності між даними одного рівня, суміжних рівнів, рівнів з однаковими номерами. Необхідною є можливість внесення і видалення рівнів і записів, тобто БД повинна бути відкритою і здатною до розвитку.

2. Структура запису показана на рис.7.4б. Записи включають поля двох типів: поля індивідуальних імен, вказівок, посилань і залежні від належності до того або іншого рівня поля запису характеристик. Ім'я дозволяє ідентифікувати запис і визначити його тип (елемент, взаємодія і т.п.). Вказівки визначають належність компонента або взаємодії до конкретного рівня або структури, а також права доступу. Посилання допомагають знайти аналог компонента, якщо є існуючий зразок. Відповідності вказують на інші компоненти в межах шарів, із якими пов'язаний компонент. Поля запису включають формати для представлення якісних характеристик, припустимих операцій і взаємодій, в залежності від належності компонента. Окремо вміщуються дані для калібрувань. Формати повинні відповідати цифровим, текстовим, символічним і графічним даним

3. Права допуску і пошук даних. Права допуску визначають можливість переходу до всіх полів запису компонента; від поточного компонента до всіх компонентів, на які є вказівки або відповідності; від поточного рівня до всіх попередніх або наступного. Таким чином, реалізується послідовність розшарування-згортки, яка виключає можливість використання надлишкових даних, що могло б призвести до похибок. Крім того, дозволяється вхід у БД до будь-яких гілки, рівня, компонента, взаємодії шляхом безпосередньої введення його імені, вказівки, відповідності, посилання. Це скорочує час пошуку і дозволяє одержувати доступ до інформації, необхідної лише для поточної стадії проектування. Пошук даних здійснюється для всіх рівнів і записів гілки оператора, потім гілки устаткування, нарешті, гілки взаємодій, що скорочує потрібний час.

#### Рис. 7.4. Структура БД і окремих записів

В залежності від складності структури і очікуваного обсягу БД, можна рекомендувати такі новітні засоби розробки: Database Designer фірми Oracle для розробки невеликої бази даних і Power Designer 6.0 фірми Sybase для бази даних середнього рівня.

## **7.2. Удосконалювання пошуку і попереднього відбору варіантів**

Процедура повинна водночас забезпечувати: полегшення пошуку нових ідей і варіантів; скорочення числа аналізованих рішень без труднощі процедури їхнього аналізу; наявність найкращого варіанта в аналізованій вибірці. Звичайні прийоми дозволяють, як правило, досягти якоїсь однієї з цих цілей (в [137,с.83] це було показано для методу «мозкового штурму», деяких засобів евристичного пошуку, повного перебору варіантів).

Розглянемо подолання цього обмеження із використанням ОМ.

Згідно з матеріалами підрозділів 6.2. і 6.3., інтуїтивне сприйняття і розпізнавання дозволяє сформулювати Сп відповідно до цілісної структури об'єкту. Отримане знання 2-го роду об'єктивне і може бути виражене за допомогою різноманітних ОМ, що відтворюють ті або інші інваріанти і калібрування. ОМ можуть розглядатися як стадії побудови загальної моделі, на різних рівнях дослідження і деталізації. Процес настроювання, неможливий без усунення фізіологічних і психологічних завад, гарантує ліквідацію бар'єрів, блоків і стереотипів, що заважають вільній реструктуризації Сп. Стан «чистої дошки» створює найкращі умови для безперешкодного висування будь-яких ідей і варіантів.

Коли інтуїтивне сприйняття відбувається під впливом  $O$ , сформоване в процесі конструювання  $Sp$ , однозначно відповідає йому, і варіанти виникають лише на стадії побудови моделей, через обмеженість засобів  $R_3$  і  $\Gamma$ - операторів, не спроможних відобразити одночасно всіх інваріантів і калібрувань. Кількість варіантів визначається числом і деталізацією моделей, ув'язується з врахованими інваріантами і калібруваннями. В процесі проектування вплив  $O$  повинен імітуватися впливом  $OM$  у ході настроювання і коректуватися відомостями, що містяться в БД. Тому варіанти виникають уже на стадії інтуїтивного розпізнавання. Їхня кількість визначається видом і ступенем деталізації  $OM$  і її образу в пам'яті проектувальника, а також повнотою відомостей, наявних у БД.

Оскільки  $Sp$  є цілісним, можлива побудова цілісних  $OM$ . Їх наявність дозволяє відкинути варіанти, що не задовольняють умовам цілісності, ще більше скоротивши їхню кількість. Найкращі варіанти, як такі, що задовольняє цим умовам, допускаються на наступні стадії. Далі, оскільки сенсом процесу розробки на цих стадіях є деталізація і калібрування попередньої цілісної  $OM$ , то її характеристики є умовами, що обмежують вибір можливих рішень. Цим також досягається скорочення числа аналізованих варіантів. На всіх стадіях відповідність рішень умовам цілісності слугує універсальним критерієм, що дозволяє оцінювати якість висунутих ідей. Таким чином, виконуються умови «ідеальної» технології пошуку варіантів. Послідовність формування вихідної  $OM$  подана на рис.7.5а.; послідовність стадій настроювання, сприйняття і розпізнавання, а також документування – на рис.7.5б. Прокоментуємо її.

Рис. 7.5. Послідовність пошуку варіантів проектного рішення

**1. Використання БД і підказів.** У якості підказів використовуються сценарії (5.1-5.4). З урахуванням різних форм компенсації втрат потенціалу, можлива побудова на їх основі кількох типів ОМ для настроювання. В ході інтуїтивного конструювання (підрозділ 2.4.), виробляються варіанти самоорганізації Сп, із залученням відомостей з БД про взаємодію з середовищем і про можливу організацію системи. Побудована на стадії опрацювання вихідних даних РЗ- діаграма, що описує їхню структуру і зв'язки, використовується в тих же цілях.

Відібрані варіанти перетворюються в пам'яті проектувальника в образи, найбільш придатні для об'єктивізації, потім, через відображення Рз, – у робочі об'єктні моделі (ОМ<sub>р</sub> на рис.7.5). Набір інваріантів і калібрувань визначає вибір схеми Рз. ОМ<sub>р</sub> будується в зручній для проектувальника формі (символи, пояснювальні записки, РЗ- діаграми, тощо). Підкази виступають у ролі первинного засобу настроювання на інтуїтивне сприйняття і для контролю цілісності, а відомості в БД – у якості засобу, що дозволяє відкоригувати варіанти, що генеруються в ході інтуїтивного розпізнавання. Вони інтерпретуються як «матеріал» для формування елементів апарату тернарної зв'язки, імітуючи вплив О.

**2. Побудова попередньої об'єктної моделі** (ОМ<sub>п</sub> на рис.7.5) провадиться в тій же послідовності, що і робочої моделі:

1. Для настроювання використовується ОМ<sub>р</sub>;
2. Результати інтуїтивного сприйняття представляються у формі З2;
3. У ході розпізнавання відомості з БД залучаються в такий спосіб. Всі дані про очікувані відповідності й обміни в проектованій системі «розкладаються по полицках», обумовлених їхніми якісними розходженнями. Це дозволяє попередньо з'ясувати ступінь деталізації, тобто кількість рівнів організації й

елементів ОМ, і встановити відповідності між шарами. С- граф (або РЗ- діаграма), що відбиває структуру даних, дозволяє прискорити цей процес.

До визначення деталізації слід підходити творчо. Можна, заради спрощення оцінки, свідомо зменшити число аналізованих рівнів, а також набір якостей, обмежившись, наприклад, побудовою тільки структурної схеми кількох перших рівнів. У цьому випадку необхідно переконатися, що відкинуті якості мають невеликі вагові коефіцієнти, такі, не впливають на основні проектні рішення.

4. При необхідності виконується корекція оцінюваних варіантів;
5. Образи перетворюються в зручну для об'єктивізації форму;
6. Проводиться побудова  $O_{m,n}$  і документування відібраних варіантів (ескізи, креслення й інші документи, інтерпретація яких по можливості однозначна).

Отже, на відміну від першої стадії, головна увага приділяється визначенню ступеня розвиненості організації проектованої системи, а також відпрацюванню системних зв'язків. Умови цілісності мають «локальний» характер.

**Автоматизація побудови  $O_{m,n}$ .** Незважаючи на неформалізованість акту інтуїтивного конструювання, використання засобів автоматизації може подати істотну допомогу у прискоренні процесу побудови  $O_{m,n}$ . Перелічимо компоненти САПР: 1). Засоби доступу до БД; 2). Засоби візуалізації підказів і управління ними (деталізація, згортка, модифікація, запам'ятовування, вміщення в БД); 3). Графічні засоби (відображення символів, графів, діаграм, схем, ескізів, креслень, формул і текстів, а також одержання їхніх твердих копій).

Розглянемо приклад генерації і відбору варіантів, а також побудови попередніх об'єктних моделей для розробки пульта КПС.

#### **Задача 7.4.** *Пошук схеми компоновки пульта КПС.*

*Постановка.* З метою оптимізації вихідного пульта управління КПС, в тому числі скорочення кількості операторів з двох до одного, необхідно визначити схему компоновки і ступінь її деталізації.

*Розв'язання.*

1. Оскільки потрібно розробити пульт для одного оператора, то в якості підказування варто використовувати (5.4) чи (5.5).

2. З перерахованих у задачах 7.1.-7.2. даних спочатку використовуються тільки загальні відомості.

3. У ході інтуїтивного сприйняття приймаються рішення:

- 12\* про ступінь інтеграції системи (можливе застосування як цілісної, так і коінцидентної схем; приймається остання);
- 13\* про розмірність схеми компоновання (достатньо розмірності 2);
- 14\* про форму представлення схеми (С- граф –  $O_{m,p}$ ). Групування органів управління повинне бути симетричним компонованню інформаційних приладів, тобто містити рівну кількість зон розміщення й елементів.

4. Тепер необхідно прийняти рішення про кількість рівнів організації системи, а також кількості елементів у групах і взаємну відповідність груп і елементів. Це виконується в такій послідовності:

- 15\* у якості елемента настроювання використовується  $O_{m,p}$ ;
- 16\* отримані в ході сприйняття образи «накладаються» на побудовані в ході розв'язання задачі 7.2. інформаційні моделі й орієнтовані графи послідовності операцій і повідомлень для різних режимів роботи системи;
- 17\* у ході розпізнавання визначаються кількості зон розміщення, приладів і органів, достатні для відображення повідомлень і виконання операцій управління в послідовностях, відповідних конкретним режимам;
- 18\* встановлюються відповідності між зонами розміщення, приладами й органами управління;
- 19\* визначаються орієнтація і спрямованість компоновання – зверху вниз і зліва направо; розвиток процесів повинен відповідати їм;
- 20\* у якості органів управління можливе використання пристроїв типу світлового пера (див. задачу 6.6.) або перемикачів. Оскільки перо повинне конструюватися спеціально, а перемикачі випускаються промисловістю, приймається рішення про застосування останніх. Його слушність має бути перевірена при визначенні загальних розмірів пульта (чи не буде він занадто громіздким і чи буде відповідати антропометричним вимогам (рис.5.6)) і при оцінці швидкості дій оператора в критичних ситуаціях на наступних



стадіях Для відображення положень перемикачів виділяється окремий рівень організації. Відзначимо, що в якості головного розглядається тільки один варіант.

Отже, визначена схема компоновання, ступінь її деталізації і необхідні рівні організації. Встановлено відповідності між приладами й органами. Остаточний варіант  $O_{m_n}$  з необхідними поясненнями показаний на рис.7.6.

Кількість елементів в групах

1

2

3

5

2

Рис. 7.6. Схема компоновання пульта КПС

*Коментар.* У ході проробки схеми була застосована евристика, що усуває необхідність розв'язання перебіркової задачі. Прийнятий варіант відповідає умовам цілісності, і можна припустити, що він і є оптимальним. Перевірка його прийнятності буде зроблена на наступних стадіях. Відзначимо, що вдалося досягти скорочення числа приладів і органів управління, в порівнянні з вихідним зразком із 53 до 17 одиниць, що спрощує не тільки роботу, але і технологію виготовлення пультів даного виду.

### **7.3. Багатокритеріальна оптимізація ІСВІ**

**7.3.1. Загальна стратегія оптимізації.** Конкретизуємо запропоновану в підрозділі 1.2. стратегію, виходячи з розроблених в попередніх розділах теорії самоорганізації С- простору, засобів формалізації та результатів моделювання операторської діяльності.

**1. Визначення організації.** *Ціллю оптимізації* є побудова ефективної, надійної і якісної ЕС [64] через забезпечення сумісності [71]. Відповідно до ГОСТів 16.035-81 і ДСТУ 2429-94, остання оцінюється за гігієнічними, антропометричними, психофізіологічними, психологічними, біомеханічними, інформаційними та естетичними показниками. Отже: 1) склад цих показників для конкретної системи, що проектується, спочатку визначає кількість аргументів оптимізації  $x = \{x_i\}_{i=1}^n$ ; 2) провадиться групування  $x_i$  за рівнями МЛС, виходячи з кількісних і якісних характеристик шарів, розглянутих в підрозділі 6.1. Це дозволяє визначити кількість стадій розшарувань  $S_p$  і уточнити кількість  $n$  аргументів, виходячи з прогнозованої для кожного з шарів. Згідно з рекомендацією 6.14., орієнтовна кількість стадій має дорівнювати 5-7; 3) виходячи з даних про прогнозовану кількість операторів і підсистем (можуть уточнюватись в процесі проектування), а також ступеню забезпечення сумісності як цілісності або інтеграції, визначається сценарій самоорганізації (5.1-5.5); 4) групи і порядки симетрій, а також розмірність  $S_p$  визначаються з попередніх відомостей і уточнюються в ході самоорганізації; 5) розподіл потенціалів та інших характеристик розраховується за формулами, наведеними в розділах 3, 5, 6, і виражається, з точністю до калібрувальних інваріантів, у вигляді ОМ так, як це описано в розділі 4. *Ця модель є формальним виразом цілі оптимізації.*

Стосовно ІСВІ, це означає: А) згідно до обраного на попередньому етапі сценарію організації, будуються ОМ<sub>1</sub> або ОМ<sub>2</sub>; ступінь деталізації визначається так, як показано в задачах 7.1., 7.2.; Б) відповідно до схеми компоновання (задачі 5.3., 5.6., 5.7., 7.4.) і (5.1-5.5), визначаються принципи розміщення й групування приладів та органів і розраховується розподіл потенціалів; В) виходячи з розрахункового розподілу потенціалів, визначаються форми, пропорції і відносні розміри компоновочних одиниць (задача 5.4.); Г) визначаються форми представлення інформації і дій управління, а також колірні рішення, що дозволяють необхідним чином впливати на стан оператора (задачі 6.6., 6.7.); Д). Відносні розміри калібруються (задача 5.5.) за нормативними значеннями ергономічних показників [48,186,203,284,286,290,292].

**2. Визначення обмежень.** Припустимі значення параметрів повинні знаходитися в межах, при виході за які стає *неможливим ефективне функціонування ЕС*, тобто *необоротно порушується її цілісність*. Ця вимога інтерпретується згідно положення 6.4., що дозволяє розрахувати межі при неповних або неточних даних. Калібрування провадяться, виходячи з згаданих нормативів.

**3. Визначення цільових функцій.** Необхідність узгодження розмірів, розрахованих за різними показниками призводить до зміни схеми компоновання, форм і пропорцій. Виникають різноманітні варіанти компромісів, *оцінки яких формалізуються як ЦФ, що відбивають відхилення варіантів від цілі проектування*. Вагові коефіцієнти відхилень приймаються пропорційними відносним значенням потенціалів їх рівнів, тобто аналогічно (6.5-6.9). Необхідно також враховувати коефіцієнти умов сприйняття і пріоритетності рецепторів. Найкращим буде варіант, який мінімально відхиляється від цілі.

Окремим етапам проектування ІСВІ відповідають власні ЦФ.

**Оцінка компоновочного рішення.** Графи, що відображають визначені варіанти компоновання (задача 7.4.), розглядаються як *оптимальні схеми, яким повинні відповідати кількості і підпорядкованість приладів і органів управління*. В дійсності таке розміщення не завжди можливе. Це породжує додаткові варіанти, що групуються по кожному з головних С- графів. *Міра відхилення від оптимального компоновання  $\Phi_1$  дорівнює:*

$$(7.6)$$

де  $m$  – номер останнього шару;

$n$  і  $k$  – розрахункова і фактична кількості елементів.

Найкращому варіанту відповідає мінімальне значення  $\Phi_1$ . У якості *безумовного обмеження* приймається, відповідно до рекомендації 6.16., максимальне число приладів (органів) у групі не більше 8.

**Визначення і оцінка пропорцій і розмірів.** Переслідується *ціль забезпечити цілісність сприйняття показників приладів однієї групи, а також відповідність їхніх розмірів антропометричним параметрам і вимогам безпеки*. Відтак: 1)

розрахунок пропорцій зон розміщення проводиться відповідно до їх потенціалів (задача 5.4.). Потенціали розраховуються в умовних одиницях відносно всієї системи. 2) пропорції зон розміщення, приладів і органів залежать від очікуваної геометричної форми та іррадіації при сприйнятті [234], тобто, за пропорційні відносні значення слід приймати для:

21\* об'єктів протяжної форми (ширина в 8 або більше разів менше довжини) – лінійні розміри;

22\* об'єктів еліптичної або круглої форми – величини площ;

23\* прямокутних (або близьких до них) об'єктів, що не дуже різняться за відношенням ширини до довжини – величини площ;

24\* сукупності об'єктів різної геометричної форми (із перерахованих) – розміри полів координаті [299];

25\* тривимірних тіл – розміри полів координаті, підраховані так, як це робилося при розв'язанні задачі 6.3.

Крім того, необхідно внести поправки [290,292] на:

26\* умови освітленості – при розташуванні компонентів у зонах різної освітленості потенціали множаться на коефіцієнт  $s_1$ , що виражає ступінь її неоптимальності (рекомендується  $s_1=0.8\div 1$ , [44,280,с.186]);

27\* умови оптимальності сприйняття – при неможливості розмістити об'єкти в зоні найкращого сприйняття потенціали множаться на коефіцієнт  $s_2$  (рекомендується  $s_2 = 0.8\div 1$ );

28\* забарвлення – при істотно різному фарбуванні робочих поверхонь приладів і органів потенціали множаться на коефіцієнт  $s_3$ , що виражає відносну яскравість забарвлення (рекомендується  $s_3 = 0.8\div 1$ ; добір сполучень кольорів описується в [280,с.75,98], фарбування приладів і органів залежно від функціонального призначення – у [65,280,с.55]).

Відхилення від цих значень, узяті з відповідними ваговими коефіцієнтами, визначають міру неоптимальності пропорцій  $\Phi_2$ :

$$(7.7)$$

де  $\pi_{ni}$  і  $\pi_{ki}$  – потенціали для фактичних і розрахункових пропорцій.

Найкращому варіанту відповідає мінімальне значення  $\Phi_2$ .

3) фактичні розміри визначаються виходячи з калібрування за антропометричними і біомеханічними характеристиками, вимогами техніки безпеки, необхідного освітлення, центрального і найбільше чіткого розрізнення зорових образів. Використовуються відомі правила визначення габаритів робочого місця, пульта, зон розміщення приладів і робочих органів, розмірів окремих знаків, з урахуванням необхідних рівнів освітленості і яскравості індикаторів [218,248, с.130-148,280,с.68-69,286,т.5-6]. 4) при неможливості задоволення обмежень провадиться зміна системи пропорцій або навіть схеми компоновання, після чого весь цикл повторюється.

**Оптимізація і оцінка засобів кодування.** 1) метою оптимізації інформаційного обміну є його приведення у відповідність з природженими спроможностями оператора до угруповання та емоційної оцінки даних, а також інтуїтивно обумовленими реакціям на порушення цілісності, (розділ 6). 2) засобом досягнення є реалізація рекомендацій 6.20.-6.26. Приймаючи до уваги, що краще сприймаються і викликають більш точну реакцію найбільші відхилення елементів від цілісної композиції, маємо таку оцінку засобів кодування  $\Phi_3$ :

$$(7.8)$$

де значення параметрів та коефіцієнтів і їхня відповідність шарам визначаються тільки для інформаційних символів.

Найбільше значення  $\Phi_3$  відповідає найкращому рішенню.

3) безумовними обмеженнями є умови сприйняття, а також обсяг зорової й оперативної пам'яті оператора. Крім того, необхідна перевірка напруженості праці оператора в критичних ситуаціях за психофізіологічними тестами.

**4. Остаточна оцінка** готового виробу описується в підрозділі 7.4.

### 7.3.2. Приклади

**Задача 7.5.** *Комплексна оптимізація пульту КПС: розміщення приладів і органів управління, визначення розмірів, удосконалення інформаційного обміну, нейтралізація емоціогенних факторів.*

*Постановка.* Необхідно, виходячи з визначеної на попередньому етапі схеми компоновання (рис.7.6), завершити оптимізацію, враховуючи особливості, що впливають із проектного завдання:

- 29\* органи управління включають двопозиційні перемикачі і кнопки пуску; така організація визначає необхідність дублювання підказувань;
- 30\* форма головних компоновочних одиниць (табло, органи управління, зони розміщення) – прямокутна, що дозволяє приймати площі пропорційними потенціалам, не вносячи додаткових поправок;
- 31\* ручки настроювання й індикатори підказувань для перемикачів не включаються до числа компоновочних елементів.

*Розв'язання.*

1. Послідовність відображення технологічних процесів приймається такою: зліва направо – перехід від двигуна 1 до двигуна 3 і від бака 1 до бака 2; зверху вниз – за ходом технологічних операцій.

2. Розташування зон розміщення. Прийняте розташування: «зона інформації», що включає: табло, пристрої регулювання і перемикач режиму управління авт./ручн. , і «зона управління», що включає: перемикачі ДПУ 1, 2 і роду палива 1-3, перекривні крани 1-3, насоси перекачування, об'єднані в 3 блоки по 2 елементи, індикатори підказів (рис.7.7). Відповідно до рекомендацій, у якості пристрою індикації використаний кольоровий монітор.

Мінімальні ергономічні вимоги до монітору наведені в [286, т.5, глава 7].

На екрані відображаються: панель стану системи, 2 панелі стану баків, 3 панелі двигунів (рис.7.8). Перша з них відображає символ режиму роботи, повідомляє про аварію, видає службові повідомлення, містить діаграми виконання технологічних процесів, що включають інформацію про загальну кількість операцій і поточну операцію (рис.7.9). На панелі баків висвітлюються діаграми

тиску, заповнення баку і відсіку, графеми підказувань (рис.7.10). Панель двигуна містить діаграми тиску, температури, оборотів і підкування регулювання палива, перекривальних кранів і насосів підкачування (рис.7.11).

Рис.7.8. Інформаційне табло

Рис.7.7. Зони розміщення

Рис. 7.9. Панель стану системи

Рис.7.10. Панель баку

Рис.7.11. Панель двигуна

У якості індикаторів підказів для зони перемикачів використовуються утоплені в пульт лампочки зеленого і червоного кольору.

Значення  $\Phi_1 = 100 * |1-1| + 61 * |2-2| + 37 * |2*3-2*3| + 23 * |2*3*5-(12+10)| = 184$ .

3. Визначення пропорцій і обчислення  $\Phi_2$  відбувається, як і в задачі 5.4., виходячи з розрахункових для схеми компоновання значень потенціалу; пропорції сторін пульта прийняті 1:Ф. Результати розрахунків наведені на рис.7.7.- 7.11.

Зміну пропорцій у зонах розміщення перемикачів проведено для поліпшення їхньої інформативної функції.

З урахуванням змін,  $\Phi_2=100*|1*0.62-1*0.62|+61*|1*0.622-1*0.62*1|+37*|(1*0.623-(0.62*(0.62+0.38*0.14))|+23*(1*0.624-15*(0.16*0.040))+3*(0.33*0.38*0.14*0.62)+2*(0.31*0.382*0.14)+0.14*0.383)+0.5*0.62*0.38*0.1|=22.77$ .

4. Обчислення розмірів. Розміри зон, табло і пульта в цілому розраховуються так, як в задачі 5.5., виходячи з можливості впевненого сприйняття текстових повідомлень при необхідному рівні освітлення і контрастності і максимальній довжині повідомлення [247,с.130-148;286,т.5,гл.5] і перевіряються, виходячи з обмежень загального компоунування робочого місця і техніки безпеки. За результатами розрахунків, висота табло складає 147 мм, ширина – 237, для пульта – відповідно 382 мм і 617 мм. Ці габарити підходять за загальними умовами компоунування [203]. Перевіримо, чи виключене помилкове натискання перемикача. При розмірах перемикачів 60\*15 мм, маємо:

- по ширині:  $(382-60*3-100)/2=51>25$  мм (25 мм – мінімально припустима відповідно до [285,т.5, розд.8.4] відстань між перемикачами;
- по висоті:  $(382-15*4-20-30)/3=91>25$  мм, тобто умови витримуються.

5. Проробка інформаційного обміну й обчислення  $\Phi_3$ . Забезпечуються: компенсація почуття небезпеки – за рахунок правильного фарбування; спрощення управління – за рахунок «прозорості» ІСВІ, видачі тільки необхідної інформації і дій управління, заснованих на реакціях на порушення врівноваженості композиції, підказувань; підтримка необхідного рівня уваги – за рахунок відстеження і відображення динаміки операцій. Конкретно це означає:

- використання двох режимів роботи табло (підсвічування тільки панелей баків і стану або ще і двигунів);
- використання, крім службових повідомлень, тільки діаграмної форми кодування, причому вихід контрольованих параметрів за припустимі межі супроводжується зміною кольору табло і підвищенням рівня контрастності, а також висвітлюванням підказувань. Останні



являють собою, по-перше, темні кола, що порушують рівновагу композиції (їхня поява викликає несвідоме бажання відновити рівновагу, тобто готовність оператора до цілеспрямованої дії), і по-друге, індикатори перемикачів, висвітлення яких підказує правильну дію і її місце.

Забарвлення елементів пульта, згідно впливу кольорів [280]:

- 32\* поверхня пульта – у синьо-зелений колір із зсувом відтінку від верхніх зон до нижніх у бік темно-синього кольору (синій колір асоціюється зі стриманістю, зелений із безпекою; зміна відтінку має на меті поліпшення орієнтації);
- 33\* табло – у блакитний цвіт, більш світлий для зони баків і темний для двигунів (асоціації – ясність, тиша) при штатному ході операцій і, відповідно, жовтий і оранжевий (легкий, зігріває, стимулює, але асоціюється із небезпекою) при виході за межі штатного режиму; світло-зелений (ніжність, життєрадісність) – для панелі стану системи;
- 34\* повідомлення: білий – для службових і діаграми виконання операцій; чорний – для діаграм зміни параметрів у штатних межах і кіл підказів; червоний – для індикації аварій і позначень параметрів, які вийшли за припустимі межі. Ці кольори теж викликають необхідні емоції.

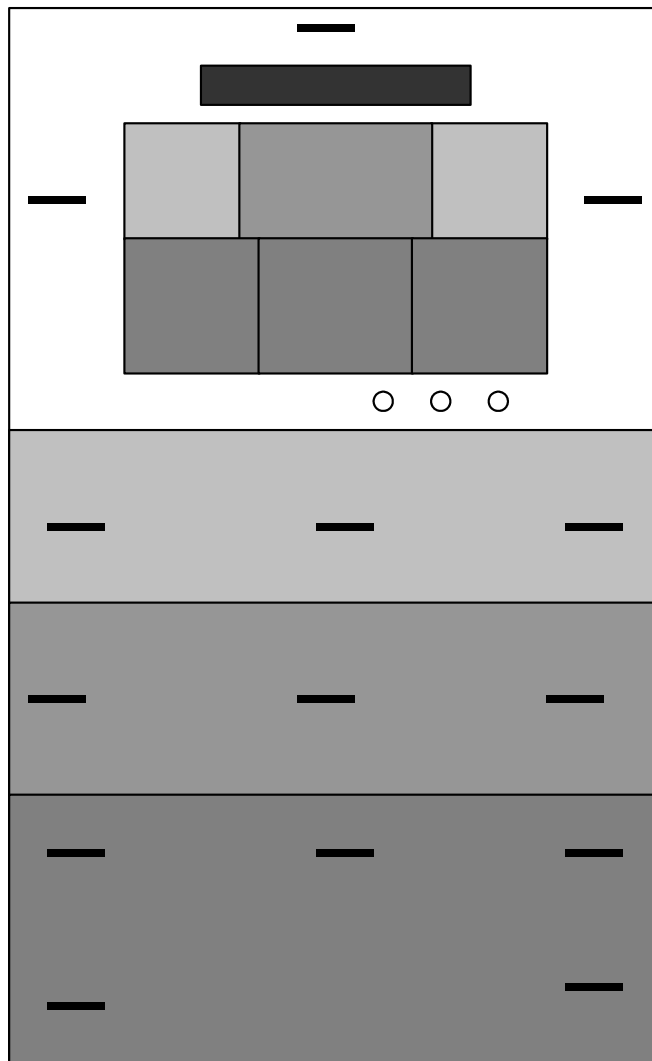
Остаточний вигляд пульта показано на рис.7.12. При  $s_1=s_2=s_3=1$ , значення

$$\Phi_3=14*(2*|8-(8+2)|+3*|8-(8+6)|+1*|8-(8+1)|*(4*0.01*0.05)-0)=120.$$

*Коментар.* Підкреслимо, що описані рішення не просто скорочують інформаційний обмін або змінюють форму кодування, але переводять розпізнавання й прийняття рішення на підсвідомий, інтуїтивний рівень і, одночасно, дозволяють управляти психоемоційним станом оператора. Таким чином, значно знижується небезпека стресу (див. підрозділ 8.2.), і відповідно, ймовірність помилок.

### **7.3.3. Автоматизація проектування. Загальні положення.**

Повторюваність операцій, постійна необхідність виконання нескладних, але



монотонних дій, обумовлюють потребу в автоматизації. Пакет програм, що автоматизує ці дії, доцільно розглядати в якості підсистеми САПР ЕС. При створенні підсистеми і роботі в ході проектування пропонується використовувати інтерфейс, показаний на фото В1. Одним з кращих RAD-середовищ, що забезпечує швидку і наочну розробку програмного забезпечення, є DELPHI. Опишемо можливості її використання більш докладно.

Рис. 7.12. Остаточний вигляд пульту КПС

Екран монітору розбивається на кілька областей:

- а) головного меню DELPHI, розташованого у верхній частині екрану, в якому містяться панелі гарячих кнопок і компонент;
- б) вікна інспектора об'єктів DELPHI, який включає сторінки властивостей об'єкта і подій, що наступають при визначених діях з об'єктом;
- в) палітри інструментів компоновання і падаючих меню;
- г) зони характеристик, що обчислюються;
- д) зони компоновання.

Області а) і б) є стандартними; охарактеризуємо склад і функції зон в)-г).

**Палітра інструментів компоновання і її меню.** Команди задаються мишею або вводяться з клавіатури; обов'язковими є засоби роботи з зовнішніми пристроями мережі (для групової розробки), а також із документами (пристрої сканування, оцифровки, друку, креслення для текстів і графічних матеріалів). Зведемо в табл. 7.1. виконувані операції і необхідні меню.

Таблиця 7.1. Операції і меню

№	Дія проектувальника	Кнопка і назва меню	Стисла характеристика дій системи
1.	вибір (генерація) сценарію організації системи і його деталізації	сценарій компонування	відображення варіантів організації з БД і фіксація обраних; намір характеристик; генерація й інтерпретація коду
2.	вибір (генерація) орієнтації	орієнтація	твердження фронтального, горизонтального або похилого розташування; опрацювання дій проектувальника; генерація коду
3.	визначення і корекція зон розміщення	зони розміщення	пропозиція схеми компонування; обробка дій проектувальника; генерація коду
4.	визначення системи пропорцій	пропорції	обчислення і корекція відповідно до команд проектувальника пропорцій зон розміщення відповідно до їхніх потенціалів; обчислення $\Phi_1$ ; генерація коду
5.	визначення розмірів	розміри	обчислення і перевірка за нормативам розмірів табло й органів; визначення $\Phi_2$ ; опрацювання дій проектувальника; генерація коду;
6.	забарвлення компонентів	забарвлення	опрацювання дій проектувальника; запам'ятовування остаточного варіанта; генерація коду
7.	уточнення розмірів	розміри-2	обробка дій по внесенню поправок на освітленість і іррадіацію; запам'ятовування результату; генерація коду
8.	організація підказів	підкази	виконання операцій 3-7 для підказів; обчислення $\Phi_3$ ; запам'ятовування результату; генерація коду
9.	«службові» операції:	сервіс	виконання «службових» дій
	а. створення і модифікація елементів компонування і їхнє внесення в БД		• опрацювання дій а-г
	б. звертання до БД і інших компонентів		• контроль стадії проектування - забезпечення доступу, повернення, порушень послідовності переходів
	в. звертання до зовнішніх пристроїв		• обробка звертань до зовнішніх пристроїв
	г. документування		• опрацювання документів

**Зона характеристик, що обчислюються**, відображає значення потенціалів, кількостей елементів, а також інших необхідних параметрів і ЦФ, що обчислюються за запитами у спеціальному меню палітри інструментів компонування. Вона включає текстовий коментар, а також різноманітну

«службову» інформацію – посилання на документи БД, запити до зовнішніх пристроїв і т.д.

**Зона компоунвання** містить вікно форми (відображає прийняті проектувальником рішення) і вікно програмування (відображає генерований DELPHI і написаний проектувальником код). У цю ж область відображаються падаючі меню палітри інструментів компоунвання.

**Пілот-пакет програм автоматизації проектування ІСВІ COMP-97.** Метою розробки версії від 97 р. є демонстрація описаної вище технології проектування в дещо спрощеному вигляді так, щоб її можна було порівняти із звичними підходами до створення ЕС. Тому доцільно було зробити реалізацію основних пропозицій і алгоритмів, так само, як і дій на кожному з етапів компоунвання, якомога більш «прозорою». Конкретно, необхідно:

- створити програми, які реалізують послідовність компоунвання;
- розробити імітаційну структуру бази даних;
- продемонструвати довідкову систему;
- удосконалити стандартні сервісні програми;
- показати засоби розробки.

В якості тестового прикладу використовувався пульт управління КПС.

**Середовище розробки і необхідні ресурси.** Пакет створено в середовищі швидкої розробки Delphi 3; стандартний Image Editor (фото В24) використовується в якості графічного редактору пакету. Взагалі, оскільки необхідно було продемонструвати і алгоритми компоунвання, і технологію автоматизації, пакет може працювати в Delphi, засоби якого, в такому разі, використовуються для модифікацій «на ходу», в процесі демонстрації. Якщо в цьому немає потреби, пакет запускається і функціонує як звичайна програма під ОС Windows 95.

Для зберігання модулів (в формах .dpr, .pas, .dfm, .res, .exe) потрібно 0.64 Мб пам'яті на жорсткому диску; для файлів бази даних – ще 1.3 Мб. Вимоги до оперативної пам'яті не є критичними. Текстові документи представляються як файли .txt, графічні – як .bmp; з іншими форматами пакет не працює.

*Структура пакету* показана на рис.7.13. Відзначимо:

1. Для запуску пакету необхідно активізувати файл C\_DE.exe.
2. Початковим модулем пакету є програма Zast\_C\_DEM.
3. Послідовність компонування реалізується модулями Orientation\_C, Sce-na\_C, Razmesche\_C, Propo\_C, Cveta\_C, Razme\_C.
4. До числа сервісних програм входять BD\_C, P\_dan\_C, Sohr\_C, Pech\_C, DV\_C, Spravka\_O\_C\_DEM.

Рис. 7.13. Структура пакету COMP-97

5. Довідкова система містить інформацію щодо програм і підказування користувачеві; текстова і графічна інформація, необхідна для компонування, знаходиться в БД, яка імітується упорядкованою сукупністю каталогів і файлів.
6. Image Editor є доступним тільки в середовищі Delphi.
7. Архітектура пакету забезпечує його відкритість і розширюваність.

*Функції окремих модулів* є такими:

C\_DE – зберігає дані про задіяні ресурси та зв'язки модулів пакету; розпочинає виконання програм пакету.

Zast\_C\_DEM (фото B1, B2) – забезпечує вибір між режимами демонстрації, звернення до довідкової системи; вихід до Windows із звільненням ресурсів.

Orientation\_C (фото B3) – пропонує вибрати (або задати) орієнтацію пульта, а також отримати довідку чи звернутись до бази даних.

Scena\_C (фото B4) – реалізує вибір сценарію самоорганізації C- простору. В даній версії обробляться лише сценарій «один оператор – один пульт».

Razmesche\_C (фото B5, B6) – пропонує і надає можливість відкоригувати схему компонування пульта (визначення кількості елементів та їх розподіл по групах) відповідно до сценарію самоорганізації. Вибрану схему можна зберегти, порівняти з аналогами бази даних, вивести на принтер. Обчислює ЦФ, яка відображає відхилення схеми користувача від оптимальної для даного варіанту. Починаючи з цього моменту, можливе повернення назад і зміна рішень.

Progo\_C (фото B7-B9) – допомагає визначити пропорції зон розміщення і приладів (звернення до довідок і бази даних, завантаження підказів, коригування пропорцій, обчислення цільової функції) та виконує стандартні операції зберігання, друку, повернення.

Sveta\_C (фото B10-B12) – надає можливість обрати і змінити колористичне рішення, підказуючи, як краще вплинути на стан оператора, ознайомитись з рішеннями-аналогами, одержати довідку та виконати стандартні операції.

Razme\_C (фото B13-B15) – завершує компонування пульта, допомагаючи розрахувати розміри, шляхом підказування, порівняння з аналогами, надання засобів коригування. Можливі зберігання, друк файлів, повернення.

Prod\_C (фото B16) – перехід до будь-якої стадії компонування.

BD\_C (фото B17) – імітує інтерфейс бази даних, допомагає знайти необхідний матеріал в певній послідовності, узгодженій із стадією компонування.

P\_dan\_C (фото B18) – забезпечує безпосередню роботу з обраним матеріалом, як текстового, так і графічного характеру (завантаження, перегляд, друк; внесення змін заборонено).

Sohr\_C (фото B19) – через звернення до стандартних засобів Delphi організує зберігання результатів компонування в потрібному місці.

Pech\_C (фото B20) – через посередництво засобів Windows забезпечує вибір принтеру та встановлення параметрів друку.

DV\_C (фото B21) – повідомляє користувачеві про відсутність реалізації в поточній версії деяких можливостей і коректно завершує обробку команди.

Spravka\_O\_C\_DEM (фото B22, B23) – перехід до довідкової системи.

**Робота з пакетом.** В середовищі Windows 95 (або Windows 95 + Delphi 3) активізується будь-яким способом C\_DE, після чого з'являється заставка пакету (фото B2). Необхідно зробити вибір одного з двох режимів демонстрації:

- 1) натиснути кнопку «Начало демонстрации», після чого вікна, відповідні етапам компонування, почнуть автоматично з'являтися у необхідній послідовності через певні проміжки часу. Вся демонстрація триває близько семи хвилин, після чого з'являється напис «Демонстрация окончена». Цю альтернативу доцільно обирати для попереднього ознайомлення з інтерфейсом і можливостями пакету;
- 2) натиснути кнопку «Ориентация» (або будь-яку іншу із цієї групи) і перейти до відповідного вікна, самостійно переходячи від одного пункту меню до іншого. Ця альтернатива корисна для більш детального дослідження функцій пакету.

Інтерфейс пакету є подібним для будь-якої розробки «під Windows»; він інтуїтивно зрозумілий для кожного користувача цієї ОС. Кожній із стадій компонування відповідає окреме вікно, поділене на три зони: основного і падаючих меню, функціональних кнопок та редагування. Спеціальні написи повідомляють про ім'я та місцезнаходження файлу, результат обчислення цільової функції, тощо. Зміна розмірів вікон є стандартною. Дії користувача зводяться до переходу від одного вікна до іншого і виконання зазначених в меню операцій. Користувач може погодитись із запропонованим йому рішенням, або

відкоригувати і зберегти його за допомогою графічного редактора Delphi (фото В24).

Лістинг програм вміщено в додатку Б, фотографії В1-В24, які відображають послідовність проектування – в додатку В.

#### **7.4. Оцінка ергономічності**

Визначення ергономічності (ГОСТи 23.5542-81, 29.06003-84, 29.08001-90) повинно задовольняти вимогам: *валідності* (наявності показників, достовірних незалежно від типу ЕС, групування операторів, режиму роботи, умов вимірювань, тощо), *мінімальної кількості вимірів, кореляції* психічних, психофізіологічних, об'єктивних і суб'єктивних показників, лабораторних і натурних вимірів, *адекватного представлення і опрацювання даних*.

*Жодна з кількох десятків існуючих на сьогоднішній день методик не задовольняє одночасно всім перерахованим умовам.*

Так, при безпосередньому вимірі показників діяльності оператора з наступною побудовою зваженого предметно-функціонального графа й аналізу його критичних шляхів для різних режимів роботи [253], хоча і досягається достовірність, але потрібне проведення великої кількості вимірів. З'ясування кореляції з психофізіологічними показниками, рівнем мотивацій і т.д. також потребує додаткових досліджень. Прикладом є

##### **Задача 7.6. Порівняння ергономічності варіантів пульта КПС.**

*Постановка.* Покажемо порядок побудови зваженого графа і можливості застосування деяких спрощених оцінок.

*Розв'язання.*

1. Визначення режимів роботи устаткування і дій оператора. Виходячи з проектної документації й описаного в підрозділі 7.3.2. рішення, маємо 8 режимів (заправки палива, переходу на АМП, 3 варіанти зупинки двигуна, зливу палива, насосного зливу, аварійного дренажу), у ході кожного з яких виконуються для вихідного варіанту – 3-10 і для запропонованого – 3-5 дій управління.

2. Виміри. Для всіх операцій кожного з режимів визначається час переміщення ока, фіксації, розпізнавання, прийняття рішення, переміщення кінцівок, натискання або повороту, а також ймовірність помилкових дій. Виміри виконуються для відібраних груп операторів 12-15 (мінімально необхідна для



одержання статистично достовірних вибірок кількості). Загальна їх кількість складе:  $8*7*7*(12\div 15)\approx 4800\div 6000$  і  $8*4*7*(12\div 15)\approx 2700\div 3400$  для вихідного і запропонованого варіантів.

3. Побудова й аналіз зваженого графа предметно-функціональної діяльності оператора. Провівши статистичне опрацювання даних, одержимо, помножуючи ймовірності помилок на час виконання операцій і відображаючи переміщення як ребра, а події як вершини, зважений граф діяльності оператора. Судити про ефективність рішень необхідно, зіставляючи виражені в умовних одиницях довжини шляхів. Оскільки для запропонованого варіанта кількість операцій та ймовірність помилок менша, ніж для вихідного (за винятком часу натискання і повороту, рівних в обох випадках), він і є кращим. Подальший аналіз зводиться до порівняння критичних шляхів, виявлення окремих ребер максимальної довжини і визначення рекомендацій по поліпшенню деталей дизайну.

4. Застосування спрощених оцінок. Як видно з пункту 3, якісний висновок про перевагу якогось варіанта можна зробити простіше. Якщо зменшення кількості приладів і операцій не призводить до збільшення ймовірності помилок, доцільно просто порівняти кількості приладів і органів (53 і 17), або операцій (56 і 32). При цьому побічно констатується зниження інформобміну. Можна конкретизувати, за рахунок чого досягнуте зниження, вимірявши окремо час фіксації, або скориставшись довідковими даними [120,с.24] (табл. 7.2), що засвідчать перевагу обраної форми кодування.

**Таблиця 7.2.** *Тривалість зорової фіксації для СВІ КПС<sup>2</sup>*

Режим	Вихідний зразок	Запропонований варіант		
		число фіксацій	час, с.	число фіксацій
Заправка АМП	10	3	4	0.8
Перехід на АМП	9	2.5	4	0.8
Злив АМТ	5	1.5	3	0.6
...	...	...	...	...
Сумарні	27	7.9	14	2.8

Далі, для швидкої оцінки надійності і ефективності СВІ слід порівняти її структуру з МС і МЛС. Так, за формулою, аналогічною (7.6), порівнюючи

<sup>2</sup> Дані вибірккові для деяких режимів.

склад і вагу задіяних в СВІ каналів сприйняття з МС і виходячи з того, що надійною є система, де контролюються всі канали, отримуємо відповідну кількісну оцінку; міра ефективності може бути розрахована за даними підрозділу 6.4.

*Коментар.* При необхідності дати рекомендації по поліпшенню конструкторських і дизайнерських рішень, потрібне «розшифрування» графів. Після цього можливі окремі, не системні рекомендації, відносна вага котрих, а також прив'язка до якостей «цілісність», «сумісність» і т.д., потребують уточнення. Усунути ці хиби, використовуючи дані психофізіологічних вимірів також не завжди можливо, тому що дискусійними залишаються вибір валідних показників, їхня взаємна кореляція і кореляція з умовами вимірів.

Наприклад, у [91] пропонується інтегральний показник, складений за результатами 4 типів вимірів, у [8,с.110] доводиться необхідність збільшення їхнього числа до 6, у [142, с.9-26] стверджується, що достатньо використовувати тільки біоплазмограму. Можливий також вибір між загальними і спеціалізованими методиками.

Виходячи з цього, для визначення якості ЕС доцільне застосування методу експертних оцінок. Оскільки цілісність ЕС візуально оцінюється через дотримання законів композиції і сприйняття, оцінки мають бути *естетичними, а їх ранжування має відповідати МЛС*. В зв'язку з цим відзначимо, що думка, виражена О.К. Антоновим, – «Красиві літаки літають добре, некрасиві – погано» [15,с.473-476] – знаходить розуміння в колах проектувальників. Такі міркування були покладені в основу розробки системи показників ергономічності в рамках договірної роботи з Інститутом медицини праці.

**Система естетичних показників на основі МЛС.** Оскільки в процесі проектування проробляються антропометрична, біомеханічна і т.д. сумісності, за нормативами, доцільно не включати в оцінку їх безпосередній вимір, розглядаючи дотримання норм як безумовні обмеження.

Ефект від застосування ергономічних рекомендацій, згідно [72,с.5], характеризується *зростанням продуктивності праці* (табл. 7.3).

**Таблиця 7.3.** Вплив ергономічних заходів на приріст продуктивності

Чинник	Ріст продуктивності, %
--------	------------------------

раціоналізація робочої пози	5-25
раціоналізація робочих рухів	5-27
оптимізація температури і вологості	1.5-25
зменшення шуму	5-10
поліпшення освітлення	1.5-30
оптимізація колірнього клімату	2-15
підвищення інтересу до праці	3-25
зниження фізичних зусиль	3-40
поліпшення форми ручок	3-30
раціоналізація праці і відпочинку	4-25
раціоналізація СУ	2-15
використання музики	5-15

Ці дані варто оцінювати як орієнтовні, оскільки вони відрізняються значною груповою й індивідуальною варіабельністю і розходяться з даними інших джерел [223,с.5].

Застосування естетичних прийомів при проектуванні СВІ й ОУ призводить до зменшення ентропії системи, скороченню часу переміщення очей, фіксації і впізнання, а також часу прийняття рішення, переміщення кінцівок і керуючих дій [286,т.5,гл.5-8,т.6].

Оскільки така оцінка є якісною і не дозволяє проаналізувати ступінь реалізації потенційних можливостей заходів, враховувати вплив естетики слід методом експертних оцінок, проводячи ранжування згідно МЛС. Отже, *узагальнена оцінка естетичного впливу повинна складатися з групових і одиничних оцінок відповідності реальних показників прогнозованим на основі МЛС для кожного елемента, шару і типу сприйняття, узятих із ваговими коефіцієнтами, пропорційними їхнім потенціалам.*

**Опис, пріоритетність і відповідність категорій.** *Тектоніка* характеризує цілісність ЕС, «прозорість» її роботи (послідовність, прогнозованість, «образність» ходу технологічних операцій), виражену в організації СВІ, і відповідність ОУ природженим реакціям оператора, тобто оцінює ступінь *інтуїтивно сприйнятої єдності форми представлення інформації і її змісту.* Пріоритет найвищий; категорія визначена для всіх рівнів, починаючи з першого.

*Структурованість* характеризує цілісність сприйняття устаткування, єдність стилю, взаємоузгодженість системи і елементів, образність, спільність тональності, тобто оцінює «виразність» СВІ й ОУ на неструктурованому «фоні», спроможність залучати й утримувати увагу, визначати емоційний тонус оператора. Пріоритет нижче; категорія визначена для другого і подальших рівнів.

*Організованість об'ємно-планувальна* оцінює якість СВІ й ОУ як *врівноваженість-неврівноваженість, наявність або відсутність функціональної симетрії, статичність-динамічність*, тобто як ступінь гармонії головних функціональних структур устаткування, кодів, змін параметрів, переміщень органів. Вона визначена для третього і наступних рівнів; її пріоритет ще нижче.

*Організованість у просторі-часі* характеризує *форму, пропорції, розміри, масштаб, ритм, нюанс, метричні повтори* композиції елементів; *послідовність, ритм, темп* роботи приладів і органів; *інформацію, ентропію*, тобто ступінь визначеності СВІ й ОУ й *енергію* дій оператора, пов'язану з формою кодування, масштабністю застосовуваних шкал, темпом роботи. Оцінюється упорядкованість на четвертому і наступних рівнях; пріоритет зменшується.

*Організованість рецепторна* оцінює *світло, світлотіньову пластику, колір, тон, фактуру і текстуру матеріалу, гармонійність асоціацій колір-звук (при використанні функціональної музики)*, тобто гармонійність композиційних засобів, відповідних 5-7 рівнім сприйняття. Її пріоритет найнижчий.

**Якісні і бальні оцінки.** Узагальненими показниками є: оцінка тектоніки і структурованості; груповими – оцінки організованості об'ємно-планувальної, у просторі-часі, рецепторної; одиничними всі інші (табл. 7.4.) Кожний з одиничних показників, у межах своєї групи і свого рівня, зручно оцінювати якісно, зіставляючи з такими оцінками визначені бали:

35*	«дуже погано»	– 1;
36*	«погано»	– 2;
37*	«задовільно»	– 3;
38*	«добре»	– 4;
39*	«відмінно»	– 5.

Тим самим використовується звична й інваріантна для кожного шару і показника шкала. Групові показники розраховуються як середньоарифметичні від суми зважених одиничних показників; вага кожного з них визначається експертом. Аналогічно визначаються узагальнені показники.

Далі провадиться опрацювання отриманих оцінок:

1. Оцінки, дані експертами для кожного з рівнів, розглядаються як випадкові величини, що утворюють 5 вибірок із  $n$  (за числом експертів) елементів.

2. Для кожної з них розраховуються:

- математичне чекання

(7.9)

- вибіркова дисперсія

(7.10)

- середнє квадратичне відхилення

(7.11)

Надалі можливі два варіанти використання отриманих величин:

а. Якщо провадиться тільки одна оцінка (наприклад, експертами в процесі сертифікації), використовується тільки (7.9);

б. Якщо дається ряд послідовних оцінок (наприклад, операторами в ході роботи), використовуються (7.9-7.11) для дисперсійного аналізу і порівняння математичних чекань із метою виявлення впливу на оцінки якогось фактору (звикання, типу мислення й інших особистісних характеристик). Передбачається, що порівнювані розміри підпорядковані нормальному закону розподілу. Методи статистичної обробки наведені в [143], для ергономіки – у [246].

3. Для кожного шару визначаються зважені групові й узагальнені оцінки:

(7.12)

де  $P_{\max}$  і  $P_{\min}$  – максимальні і мінімальні бали для шарів, визначені із табл. 7.4.

4. Розраховується умовна сумарна оцінка показників<sup>3</sup> :

(7.13)

---

<sup>3</sup> Згідно МЛС, оцінки 2-го і наступних рівнів являють собою долі від оцінки першого рівня; тут вони підсумовуються лише заради наочності.

Ця оцінка визначає загальний експертний висновок:

$239 < X_s < 278$  – «погано»;

$279 < X_s < 334$  – «задовільно»;

$334 < X_s < 382$  – «добре».

Для уточнення оцінки для кожного з рівнів вводяться *оцінки гармонійності показників і збалансованості рівня*. Перша визначається для кожного з рівнів шляхом порівняння  $X$  з розрахунковим значенням оцінки, виходячи з  $X_s$

(7.14)

Відхилення  $X$  у менший бік вказує на необхідність поліпшення рішення.

Друга визначається порівнянням одиничних оцінок кожної з груп з груповою оцінкою; відхилення в менший бік показує, що рішення слід змінити.

**Таблиця 7.4.** *Естетичні показники ергономічності*

№ рівню	Показники		Значення в балах		
	узагальнені	групові	одиничні	min	max
1	тектоніка			100	162
2	структурованість			62	99
3		організованість об'ємно-планувальна		38	61
			врівноваженість-неврівноваженість, функціональна симетрія-асиметрія, статичність-динамічність		
4		організованість у просторі-часі		24	37
			форма, пропорції, розміри, масштаб, ритм, нюанс, метричний повтор; послідовність, ритм роботи, темп; інформація, ентропія, енергія		
5-7		організованість рецепторна		15	23
			світло, світлотінь, колір, тон, фактура, текстура, асоціації колір-звук		

**Процедура оцінки.** При призначенні експертів варто виділяти: 1) експертів-дизайнерів, 2) експертів-операторів з груп на осіб із переважно вербальною або образною формами мислення. До оцінок слід застосовувати вагові коефіцієнти,

пропорційні рівню кваліфікації експертів. Оцінка визначається кожним експертом кожної групи незалежно. Заповнюється протокол, за формою відповідний табл.7.4.; для узагальнених, групових і одиничних показників оцінки проставляються у формі «відмінно», «добре» і т.д. Обґрунтування не дається.

**Автоматизація** доцільна для: збору і приведення до формальної форми експертних оцінок; статистичної обробки; розрахунку умовної сумарної оцінки, оцінок гармонійності і збалансованості; змісту показників ефективності; опрацюванні даних і результатів розрахунків; забезпеченні роботи з базою даних.

**Визначення ваги естетичних факторів.** З табл. 7.4. видно, що вага визначається типом діяльності оператора і застосовуваних засобів компенсації.

Тому дані табл.7.3. уточнюються так: *можливості збільшення ергономічності визначаються різницею потенціалів рівню, на якому здійснюється діяльність оператора, і рівню компенсації.*

**Задача 7.7.** *Визначення ваги естетичних факторів для окремих випадків.*

**Постановка.** Нехай основний характер діяльності оператора кинестетичний (рівень 4), а компенсація негативних впливів відбувається на рівні рецепторної організованості. Визначити вагу естетичних чинників  $V$ .

*Розв'язання.*

1. Формула оцінки:

(7.15)

де  $k_3$  і  $k_1$  – коефіцієнти значущості впливу групи рецепторів і конкретного рецептора для діяльності оператора;

$k_2$  – коефіцієнт умов сприйняття;

$3$  – кількість груп рецепторів (екстероцептори, пропріоцептори, інтероцептори).

2. Для екстероцепторів, приймаючи  $k_1=k_2=k_3=1$ , маємо  $V=0.618*1*1*1/3=0.26$ , тобто ергономічність може бути збільшена максимум на 26% (достатньо точна кореляція з даними табл. 7.3.); окремо для зору, приймаючи  $k_1=1$ ,  $k_2=0.7\div 0.9$ ,  $k_3=1$  [290], одержимо  $V=0.618*1*(0.7\div 0.9)*1/3=0.144\div 0.185$ , тобто ергономічність може бути збільшена на 14.4÷18.5%.

3. Порівняння досягнутих показників із розрахунковими значеннями дозволить оцінити ефективність заходів щодо підвищення ергономічності. Наприклад, теоретично можливий приріст продуктивності для умов задачі 5.1. складає  $V=0.618*1*0.1*1/3=0.026$ , або 2.6%; фактичне значення [223] – 1÷3%.

*Коментар.* З урахуванням точності вимірів, можна говорити про високу ефективність застосування функціональної музики в цьому випадку.

## **Висновки по сьомому розділу**

1. Достовірність та ефективність евристики пошуку варіантів, стратегії оптимізації, системи показників та підсумкових оцінок ергономічності підтверджується практичними впровадженнями (див. довідки в додатку А), а також порівняннями з існуючими рішеннями. Це також показує корисність моделей операторської діяльності, розроблених в розділі 6.

2. Новою є стратегія багатокритеріальної умовної оптимізації з неоднорідними критеріями, як самоорганізації системи на основі моделей операторської діяльності. Це дозволяє формалізувати ціль і критерії оптимізації, обчислити розмірність простору параметрів, врахувати різнорідні фактори, визначити їх вагу, ввести відносно прості і легко обчислювальні цільові функції. Новою також є комплексна оцінка ергономічності, пов'язана з структурою системи сприйняття, інтуїтивними і емоційними формами обробки інформації та процедурою відбору операторів ІСВІ (підрозділ 8.1.).

3. Практична цінність запропонованої евристики пошуку рішень полягає в скороченні кількості варіантів, що мають розглядатися, спрощенні розрахунків, тобто економії часу та інших ресурсів. Обґрунтованість оцінок кінцевих рішень приводить до зменшення потреби в натурних вимірюваннях. Нові рішення і заходи, які демонструють реалізацію концепції ІСВІ, підвищують рівень ергономічності КПС в порівнянні зі зразком-аналогом. Запропонована архітектура БД і алгоритми пакету COMP перспективні для використання в САПР ЕС.



4. Матеріали розділу створюють базу для уточнення ергономічних норм та кореляції конструкторських і дизайнерських рішень ІСВІ з процедурами відбору і підготовки оператора (розділ 8).

5. Публікації автора – [27,28,126,130,131,134,137,138,185,243,245].