

Тема 6. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ « ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – СЕРЕДОВИЩЕ »

- 6.1. Методичні засади визначення небезпечності об'єктів та процесів.
- 6.2. Надійність технічних систем.
- 6.3. Глобальний (загальносистемний) ризик відмови системи після модернізації.
- 6.4. Надійність оператора.
- 6.5. Фактори надійності оператора.
- 6.6. Фактори середовища.
- 6.7. Ергономічні фактори.

6.1. Методичні засади визначення небезпечності об'єктів та процесів

Основним методичним принципом визначення безпечної поведінки є системно–структурний підхід, а методом – системний аналіз. У широкому розумінні поняття «системний аналіз» – сукупність методичних засобів, які використовуються для підготовки та обґрунтування рішень стосовно складних понять.

Системний аналіз, що використовується для оцінки системи «людина – техніка – середовище» (СЛТС) – це сукупність методів визначення небезпек, які виникають у системі в цілому або на рівні її компонентів. Вони передбачають застосування математичного апарату теорії імовірності і методів неформального аналізу (експертизи, опитування, евристичні методи).

Системний аналіз як метод дослідження виник наприкінці 50–х років минулого століття у складі наукової дисципліни «Безпека систем». Концепція безпеки систем зародилася у галузі ракетобудування і набула широкого застосування в авіабудівництві та аерокосмічних дослідженнях, а згодом – ядерній енергетиці, хімічній промисловості та інших галузях.

Безпека систем спрямована на виявлення небезпек, застосування засобів

запобігання та контролю цих небезпек протягом життєвого циклу системи.

Системний аналіз дає змогу виявити можливі небезпечні ситуації у системі, описати якісно і кількісно, прогнозувати їх виникнення та можливі наслідки, а отже, запобігти їм. Для цього використовуються методи теорії імовірності, статистичного аналізу та інші.

Системний аналіз включає дослідження:

- апріорні, що проводяться до виникнення небезпечних подій у СЛТС;
- апостеріорні, що проводяться після виникнення небезпечних подій у СЛТС.

Аналіз небезпек починається з досліджень, що дозволяють ідентифікувати джерела небезпеки, далі проводять детальний якісний аналіз. Вибір методу якісного аналізу визначається поставленою метою, складністю об'єкта тощо. Цей аналіз ґрунтується на розрахунках ймовірностей виникнення небезпек і статистичних показників. Кількісною оцінкою небезпеки є ризик. Методичні прийоми, що застосовуються для розрахунку ризику, наведені у попередніх темах.

Якісні методи аналізу небезпек включають:

- попередній аналіз небезпек;
- аналіз наслідків відмов;
- аналіз небезпек за допомогою дерева наслідків;
- аналіз небезпек методом потенціальних відхилень;
- аналіз помилок персоналу;
- причинно–наслідковий аналіз та інші.

Попередній аналіз небезпек включає:

- вивчення технічних характеристик системи, об'єкта, процесу джерел енергії та матеріалів, що використовуються, їх руйнівних властивостей;
- установлення відповідності технічної документації та актуального стану об'єктів та процесів принципам і нормам безпеки;
- ідентифікацію небезпек системи та її компонентів.

Аналіз наслідків відмов полягає у виділенні окремих компонентів системи

та виявленні для кожного з них можливих відмов, їх ранжуванні за ступенем небезпечності, вивченні небезпечних подій та розробці запобіжних заходів. Це переважно якісний метод ідентифікації небезпек, що ґрунтується на системному підході і має прогностичний характер.

Аналіз небезпек за допомогою дерев причин орієнтується на потенційно небезпечні події. Він полягає у виявленні усіх факторів, що можуть сприяти її виникненню. За результатами цього аналізу будують орієнтовний граф – «дерево».

Аналіз небезпек за допомогою дерева наслідків потенційної події досліджує групу подій, що призводять до небезпечних подій.

Аналіз небезпек методом потенційних відхилень досліджує режим функціонування системи, об'єктів, процесів, або їх компонентів, що відхиляються від нормативного.

Аналіз помилок персоналу полягає у відборі системи й виду робіт та ідентифікації серед них виду потенційної помилки, прогнозуванні наслідків і можливих заходів до її виправлення, оцінці імовірності помилки та її виправлення, розрахунку ризику, вибору шляхів до його зменшення.

Причинно–наслідковий аналіз виявляє причини небезпечної події, що відбулася. Він завершується прогнозом імовірних небезпечних подій і розробкою заходів щодо їх усунення. В ньому використовуються методи:

- прямі – коли за переліком причин установлюються можливі наслідки;
- зворотні – коли за небезпечними наслідками виявляються їх причини.

Найчастіше у системному аналізі СЛТС застосовуються методи, що ґрунтуються на *теорії імовірності*. Вони дозволяють не тільки встановити причину, але й прогнозувати небезпечну подію.

Теорія імовірності описує *масові події*. Масовими називають такі події, що мають місце у сукупності великої кількості практично рівноправних об'єктів. Імовірність їх виникнення (або не виникнення) обумовлена комплексом умов і незначною мірою визначається природою об'єктів. При цьому подія може відбутися, а може не відбутися. Тобто подія має випадковий характер.

Відповідно до теореми, сформульованої французьким математиком Борелем, частота появи будь-якої випадкової події за умови необмеженої кількості експериментів зводиться до імовірності цієї події. Ця теорема може бути записана у вигляді рівності

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{m/n \rightarrow P\} = 1, \quad (6.1)$$

де P – імовірність події; n – кількість незалежних дослідів; m – кількість появ події.

Подія, імовірність появи якої близька до одиниці, називається практично достовірною. А подія, імовірність появи якої близька до нуля – практично неможливою. Процеси, що виникають у системі, стан якої у кожний момент часу є випадковим, називається *стохастичними*. У СЛТС вони мають місце під час аварій, при перевтомі оператора та інших відхиленнях стану як системи в цілому, так і її компонентів. Найпростішими зі стохастичних процесів є *дискретні*. Вони повторюються через певні проміжки часу.

Стохастичні процеси з дискретним параметром називаються *стохастичними послідовностями* або *випадковими ланцюгами*. Окремий їх вид – *ланцюги Маркова* або *марківські стохастичні процеси*.

Ланцюгом Маркова називається така послідовність подій, в якій умовні імовірності наслідків кожної наступної події залежать тільки від наслідків безпосередньої події і не залежать від наслідків подій, що відбулися раніше. Якщо ці імовірності не залежать від номера події, то ланцюги Маркова називаються *однорідними*.

Застосування цього методу для аналізу небезпечних подій дозволяє визначити імовірність їх появи і запропонувати упереджуючі заходи щодо виникнення небезпек.

Наприклад, в якійсь СЛТС відбулася низка небезпечних подій (по черзі вийшли з ладу окремі її елементи). При цьому система перейшла у стан $A_1, A_2 \dots A_k$. Результат кожної з таких подій залежить тільки від наслідків попередньої

події. Проаналізуємо імовірності їх появи у майбутньому, які позначимо P_{11} , $P_{12} \dots P_{1k}$. Використовуючи метод однорідних ланцюгів Маркова, отримаємо матрицю (таблицю) переходу:

$$\pi = \begin{pmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k1} & \dots & P_{kn} \end{pmatrix} \quad (6.2)$$

Ця матриця показує, якщо система знаходилася у стані A_1 , то у наступній події вона з імовірністю $1/2$ залишиться у тому ж стані A_{11} і з імовірністю $1/3$ перейде у стан A_{21} , у стан A_{k1} вона перейде із імовірністю $1/6$. Якщо система вже знаходиться у стані A_{21} , то при наступній події вона не зможе перейти у стан A_{11} , а з імовірністю $2/3$ залишиться у тому самому стані. З імовірністю $1/3$ перейде у стан A_{k1} . Зі стану A_{k1} система перейде з ймовірностями $1/2$ у стан A_{11} або A_{21} .

Для аналізу безпеки об'єктів успішно використовується метод «дерев».

Це багатоетапний процес виявлення небезпечних ситуацій і їх причин, який за структурою нагадує дерево з розгалуженими гілками. Границі розгалуження дерева визначаються метою аналізу. Це графоаналітичний метод. До його переваг належить можливість зосередити увагу тільки на тих елементах системи і подіях, що безпосередньо є джерелом небезпеки. Існують різноманітні прийоми виявлення небезпечних ситуацій:

- із застосуванням дерев відмов;
- із застосуванням дерев подій;
- небезпечності і працездатності та ін.

При побудові методу «дерев» розрізняють три види подій:

1) основну подію – це вихідна подія, що відбиває дію або стан елемента, який визначає безпеку функціонування всієї системи, тобто подія з якої починається «дерево небезпек»;

2) провідна подія відбиває стан системи при реалізації небезпек, це подія,

що обмежує «дерево небезпек»;

3) допоміжні події, до яких належать проміжні, несуттєві, але достатньо вивчені й умовні події.

Наприклад, «дерево подій» має таку структуру:

- реалізація небезпеки – верхня частина дерева;
- тіло дерева – послідовні події, що ведуть до реалізації небезпеки і поєднані між собою певною логікою;
- стовбур – події, що ґрунтуються на статистичних або теоретичних даних щодо їх виникнення. Ці події впливають на границі розгалуження дерева (рис. 6.1).

Техніка побудови «дерев», що застосовуються для аналізу СЛТС і її складових, докладно висвітлена.

Аналіз видів, наслідків та критичності відмов елементів системи

Безпека життєдіяльності людини у СЛТС визначається великою кількістю складових. Однією з найважливіших є *надійність виробництва*. Надійність виробництва залежить від надійності технічних засобів, технологій і людини. Надійність виробництва визначається також надійністю будівельних конструкцій виробничих споруд, транспортних засобів, енергетичних систем і т. ін. Якою б досконалою не була СЛТС, і які питання не вирішувала, якщо вона не надійна, тобто часто виходить із ладу, *ефективність* її експлуатації буде низькою, а отже, небезпечною для людини і навколишнього середовища. Ефективність СЛТС розуміють як здатність системи досягати поставленої мети у заданих умовах із певною якістю.

У спрощеному вигляді ефективність функціонування СЛТС можна оцінити за виразом

$$W_c(t, \tau) = W_m(t, \tau) \cdot W_o(t, \tau) \cdot W_e(t, \tau), \quad (6.3)$$

де $W_m(t, \tau)$ – ефективність функціонування машини; $W_o(t, \tau)$ – показник ефективності функціонування оператора; $W_e(t, \tau)$ – показник, що характеризує вплив середовища на ефективність функціонування системи.

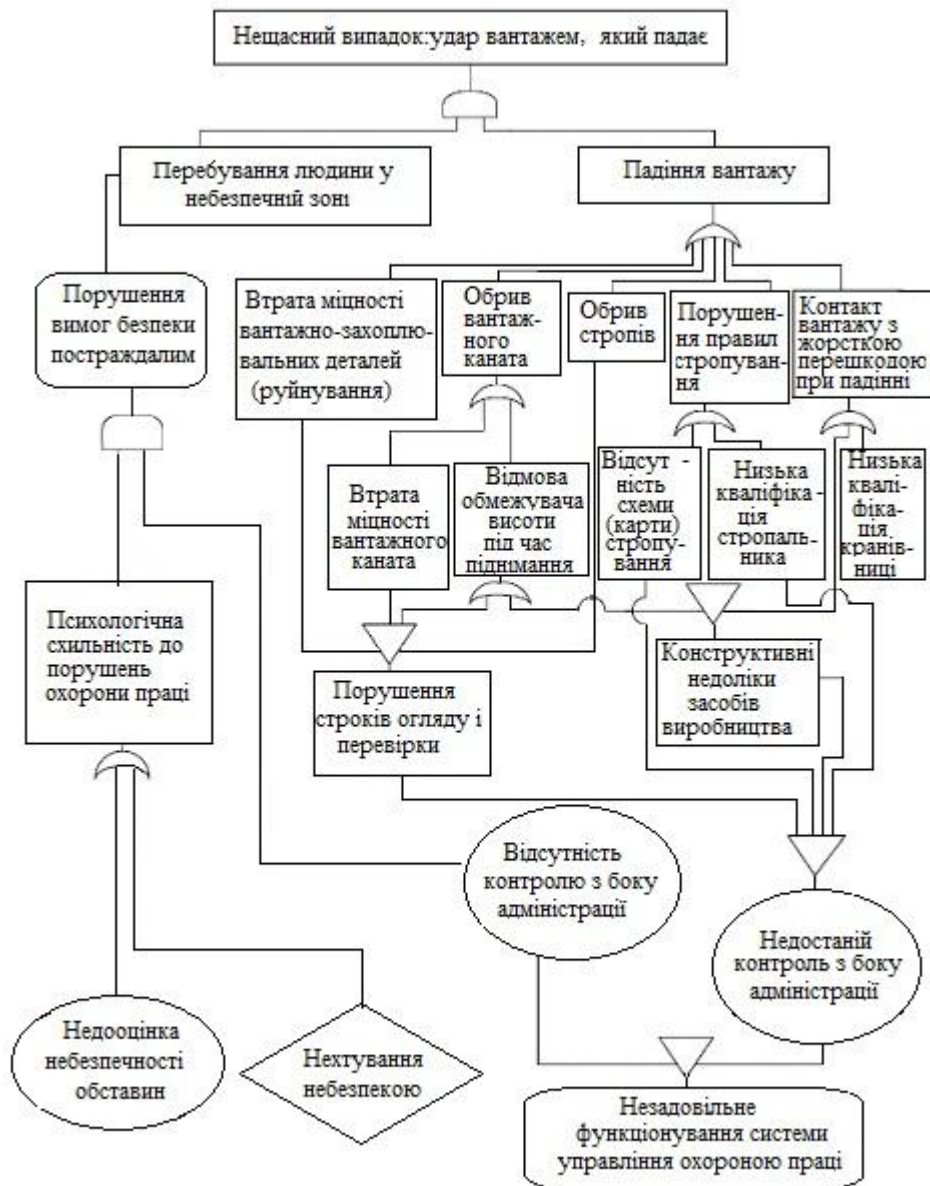


Рисунок 6.1 – Логічне дерево виникнення небезпеки удару робітника вантажем крана

Отже, ефективність функціонування СЛТС залежить від ефективності роботи як технічних ланок, так і оператора. Ефективність функціонування

СЛТС, насамперед оцінюється за показниками *надійності* й *ергономічності*, а також *ризик* виникнення небезпечних ситуацій.

6.2. Надійність технічних систем

Надійність системи розуміють, як властивість виконувати функції протягом певного часу у заданих умовах роботи. Критерії, що використовуються при оцінці надійності, наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Критерії оцінки надійності СЛТС та її елементів

Техніка	Людина	СЛТС
1. Імовірність безвідмовної роботи, $P(t)$	1. Імовірність безпомилкової роботи, $P_{оп}$	1. Імовірність виконання системою завдання, $P_{лм}$
2. Коефіцієнт готовності, K_r	2. Коефіцієнт готовності оператора, $K_{оп}$	
3. Коефіцієнт відновлення техніки, що відмовила, $P_{відн}$	3. Імовірність своєчасного виконання роботи, $P_{св}$	
	4. Імовірність виправлення допущених помилок, $P_{випр}$	

Оцінка надійності виконується:

- при проектуванні СЛТС – для прогнозування очікуваного рівня надійності (проектна оцінка надійності);
- при експлуатації СЛТС – для визначення фактично досягнутого рівня надійності (фактична оцінка надійності).

Оцінка надійності може виконуватися різними методами: *аналітичними* (розрахунковими), *експериментальними* і *шляхом моделювання*.

Надійність технічних засобів або їх елементів може оцінюватися якісно і кількісно. Якість технічного засобу розуміють, як здатність виконувати задані функції у встановлених умовах використання.

Класифікацію кількісних методів оцінки надійності СЛТС наведено на рис. 6.2.

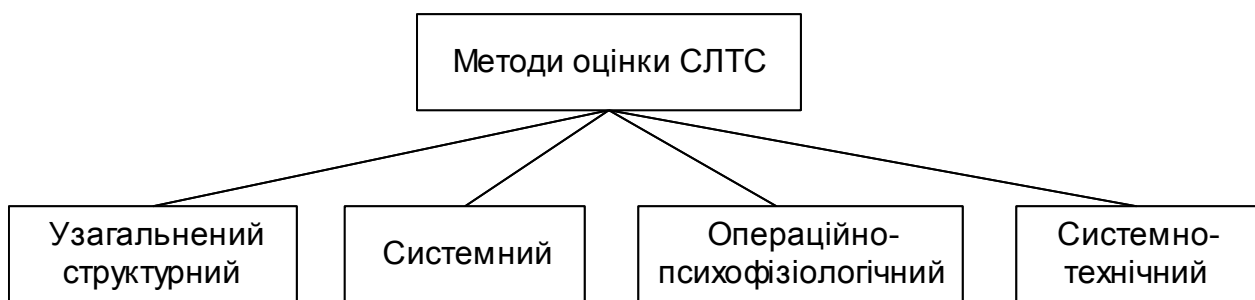


Рисунок 6.2 – Класифікація методів оцінки надійності СЛТС

При застосуванні *структурного методу* діяльність СЛТС розглядається як ряд ієрархічних рівнів, кожний з яких поданий певною структурою.

Системний метод ґрунтується на аналізі й оцінці надійності СЛТС, апаратури (приладів), безвідмовності операторів за різними функціональними рівнями (обслуговуючого, біологічного тощо).

Операційно-психологічний метод передбачає розчленування діяльності оператора на окремі дії, для яких відомі вихідні значення часу, точності та надійності виконання. На підставі цього здійснюється синтез структури діяльності й отримання інтегральних характеристик надійності СЛТС.

Системотехнічний метод розрізняє оцінку надійності систем із різними типами комплектації. На підставі цих умов визначається надійність СЛТС.

Кількісно надійність реалізується через безвідмовність, відновлюваність і довговічність. Поняття *відмови* є основним поняттям теорії надійності. Відмову розуміють, як випадкову подію, у разі якої система або її елементи повністю

або частково втрачають свою працездатність, внаслідок чого задані їм функції не використовуються.

Відмови класифікують так:

- за часом;
- за наслідками;
- за причинами виникнення;
- за характером виявлення тощо.

За часом існування і характером усунення відмови поділяються на стійкі і тимчасові. *Стійкі відмови* усуваються тільки в результаті ремонту (заміни елемента, що відмовив) або регулювання. *Тимчасові відмови* можуть зникати самостійно без втручання обслуговуючого персоналу. Тимчасові відмови, що повторюються багаторазово, називаються переміжними.

При класифікації за наслідками розрізняють *повні* і *часткові* відмови. Повна відмова виключає можливість продовжувати роботу технічного засобу. Наприклад, припинення надходження палива до паливного насоса призводить до зупинки двигуна.

Відмови технічних засобів виникають за рахунок *зносу, старіння* або через несприятливий збіг умов роботи. Знос – повільні зміни розміру й форми робочих поверхонь окремих деталей технічного засобу, що відбуваються під час його експлуатації. Старінням технічних засобів називають структурні зміни матеріалів, із яких виготовлені його деталі. Залежність *інтенсивності відмов* від терміну експлуатації технічного засобу наведено на рис. 6.3.

Причиною відмов технічних засобів можуть бути також недоліки конструктивних рішень, порушення технологічних норм їх виготовлення. Основними критеріями *безвідмовності технічних засобів* є імовірність $P(t)$ безвідмовної роботи й інтенсивність відмов.

Під імовірністю безвідмовної роботи розуміють імовірність того, що час T безвідмовної роботи засобу буде більше заданого системі часу t

$$P(t) = P(T > t). \quad (6.3)$$

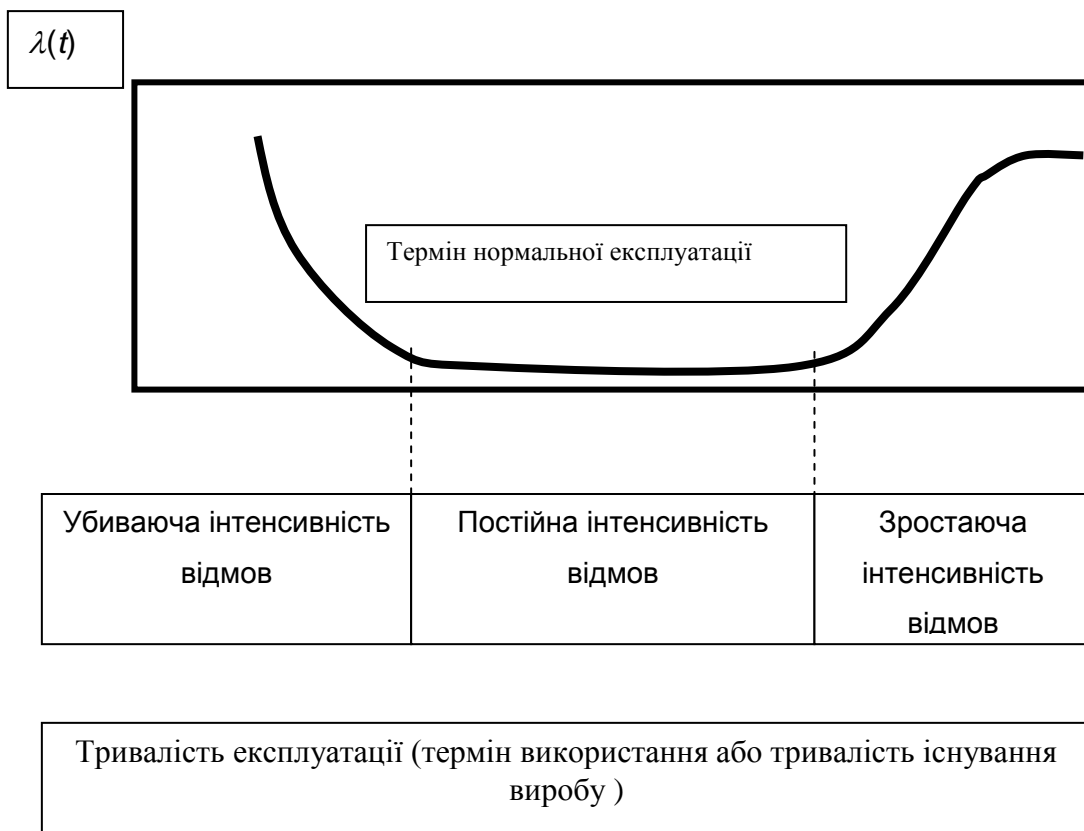


Рисунок 6.3 – Залежність *інтенсивності* відмов від терміну експлуатації технічного засобу

Імовірність безвідмовної роботи технічного засобу в будь-який час експлуатації (t) розраховується за результатами статистичної обробки даних, отриманих під час випробувань системи на надійність

$$P(t) = N_0 - n(t)/N_0, \quad (6.4)$$

де $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи засобу за час t ; N_0 – загальна кількість засобів; $n(t)$ – число засобів, що відмовили на час роботи t .

Відмова як подія протилежна події безвідмовної роботи, визначається

$$q(t) = 1 - P(t), \quad (6.5)$$

де $q(t)$ – відмова.

Із зростанням терміну роботи від t_1 до t_2 технічного засобу імовірність його відмови безперервно зростає.

Найбільш повною характеристикою надійності елементів системи є *інтенсивність відмов*. Інтенсивність відмов визначається як відношення кількості засобів, що відмовили за одиницю часу, їх кількості, що залишилися працювати

$$\lambda(t) = dn/N_u(t)dt, \quad (6.6)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; dn – кількість засобів, що відмовила за час dt ; $N_u(t)$ – кількість засобів, що пропрацювали час dt .

Імовірність відмов пов'язана з імовірністю безвідмовної роботи. Цей зв'язок отримав назву *загального закону надійності* : *характер зміни імовірності безпомилкової роботи технічного засобу у часі при прийнятих допущеннях залежить тільки від характеру зміни у часі інтенсивності відмов*. Його відбиває вираз

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (6.7)$$

де λ – інтенсивність відмов.

При $\lambda(t) = \text{const}$ формула набуває вигляду $P(t) = e^{-\lambda(t)}$.

Ця закономірність отримала назву *експоненційного закону надійності*.

Інтенсивність відмов системи, що складається з k елементів, визначають як суму інтенсивностей відмов окремих елементів. Для таких систем

$$P(t) = \prod_{i=1}^k P_i = e^{-\sum_{i=1}^k \lambda(t)}. \quad (6.8)$$

Використовуючи поняття згаданої вище теорії надійності, для СЛТС неперервного типу показником надійності є імовірність безвідмовного,

безпомилкового й своєчасного перебігу виробничого процесу за термін t . Надійність такої системи може бути подана у вигляді:

$$P_{\text{л,м,1}}(t) = P_{\text{т}}(t) + [1 - P_{\text{т}}(t)] K_{\text{оп}} [P_{\text{оп}} P_{\text{св}} + (1 - P_{\text{випр}}(t))], \quad (6.9)$$

де $P_{\text{т}}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи технічних засобів; $K_{\text{оп}}$ – коефіцієнт готовності оператора; $P_{\text{св}}$ – імовірність своєчасного виконання оператором необхідних дій; $P_{\text{випр}}$ – імовірність виправлення помилкових дій.

Для СЛТС змішаного типу формула для розрахунку надійності має вигляд

$$P_{\text{л,м,2}} = K_{\text{оп}} [P_{\text{т}} P_{\text{оп}} P_{\text{св}} + (1 - P_{\text{т}}) P_{\text{від}} P_{\text{оп}} P_{\text{св}} + P_{\text{оп}}] P_{\text{т}} P_{\text{випр}}, \quad (6.10)$$

де $P_{\text{від}}$ – імовірність відмови техніки.

Для СЛТС дискретного типу розрахунок надійності виконують за формулою

$$P_{\text{л,м,3}} = K_{\text{т}} P_{\text{т}} P_{\text{оп}} P_{\text{св}} + (1 - P_{\text{т}} K_{\text{т}}) P_{\text{від}} P_{\text{оп}} P_{\text{св}} + (1 - P_{\text{оп}}) P_{\text{т}} P_{\text{випр}}, \quad (6.11)$$

де $K_{\text{т}}$ – коефіцієнт готовності техніки.

Поряд із характеристиками імовірності безвідмовної роботи надійність технічних засобів визначається *коефіцієнтом готовності* $K_{\text{оп}}$

$$K_{\text{оп}} = T_0 / (T_0 - T_{\text{п}}), \quad (6.12)$$

де T_0 – час безвідмовної роботи технічного засобу за термін T ; $T_{\text{п}}$ – середній час простою технічного засобу.

Розглянуті кількісні оцінки надійності функціонування технічних засобів ґрунтувалися на імовірності відмов. Іншим підходом є *визначення їх надійності за наслідками*. Він дає можливість зв'язати відмову технічного засобу з аварією

системи, готовністю її до подальшого використання. Ця залежність, наприклад, для випадку відмови польотів літаків цивільної авіації визначається за формулою

$$F(A/Q)q = \beta (1 - \delta)(1 - \eta)[(1 - \nu) + \nu(1 - \xi)]q, \quad (6.13)$$

де η – імовірність відмови, яка не порушує режиму польоту; $F(A/Q)q$ – умовна імовірність наслідку A ; ξ – парировання відмови після її виявлення; q – імовірність відмови технічного засобу; ν – імовірність своєчасного виявлення відмови льотчиком; β – імовірність відмови технічного засобу, що визначається на підставі статистичних даних; δ – надійність роботи системи резервування.

Для випадку, пов'язаного з ремонтом авіатехніки (Д), рівняння має вигляд

$$F(D/Q)q = q. \quad (6.14)$$

Зв'язок між надійністю й відсутністю стійких відмов має вигляд

$$P(t) = K_{\Gamma} P_y(t) P_n(t), \quad (6.15)$$

де $P_y(t) P_n(t)$ – імовірність відсутності стійких відмов, що перемежаються за час t .

Поряд з оцінкою надійності технічних систем з точки зору безпеки життєдіяльності людини важливе значення має такий показник, як *безпечність праці оператора* в СЛТС. Він оцінюється імовірністю безпечної роботи

$$P_{\text{от}} = 1 - \sum_{i=1}^n P_{\text{вині}} \cdot P_{\text{помі}}, \quad (6.16)$$

де $P_{\text{вині}}$ – імовірність виникнення небезпечної або шкідливої для людини виробничої ситуації i -го типу; $P_{\text{помі}}$ – імовірність неправильних дій оператора в i -й ситуації; n – кількість небезпечних ситуацій.

Небезпечні та шкідливі ситуації можуть створюватися через технічні причини (несправність машин, аварійна ситуація, несправність захисних засобів тощо), стан умов праці та ін.

6.3. Глобальний (загальносистемний) ризик відмови системи після модернізації

Розглянемо дії особи, що приймає рішення (ОПР), які можуть призвести до повної відмови системи після її модернізації зі стану часткової відмови. Припустимо, система не задовольняє свого керівника за економічним критерієм отримання прибутку та критерієм необхідності великих вкладень на утримання системи^[25]. Керівник приймає рішення про модернізацію системи за схемою (рис. 6.4).

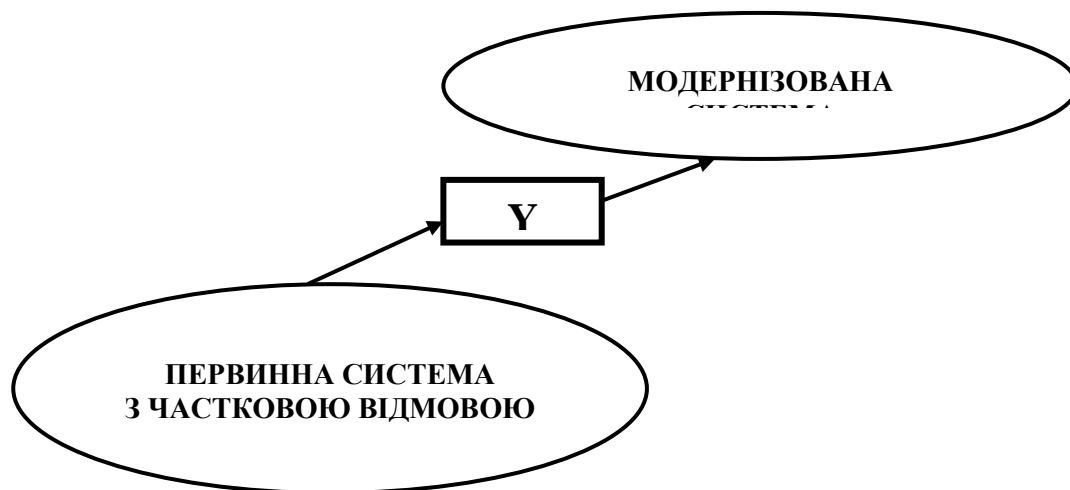


Рисунок 6.4 – Схема модернізації системи з частковою відмовою

25. Загальносистемний ризик відмови системи після модернізації. *Адаменко М.І., Березуцький В.В., Кучук Н.Г та ін.*// Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – Х . : Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип.10 (135). – С.113 – 118.

При цьому система 1 – це первинна система з частковою відмовою. Оператор модернізації Y – сукупність рішень ОПР, необхідних для втілення. Система 2 – модернізована система.

Припустимо, що оператор ОПР застосував найбільш логічні з її точки зору дії:

- підвищила вартість проїзду;
- знизил заробітну плату працівникам;
- знизил витрати на ремонт рухомого складу.

Після застосування оператора перетворення і внаслідок дій ОПР пасажиропотік повністю перейшов на альтернативний вид транспорту через неможливість оплати проїзду, звільнилися найбільш досвідчені фахівці, яких не влаштовує рівень заробітної плати, вийшла з ладу вагома частина рухомого складу. Як наслідок маємо, що модернізована система є системою з глобальною відмовою.

Зрозуміло, що приклад є надто примітивним, але він дозволяє зробити два дуже важливі висновки.

По–перше, стратегічним задумом ОПР могло бути з самого початку руйнування системи як результат дій модернізації. Як мотиви можна припустити таке: ОПР мала на увазі, що первинна система не може бути ефективно реструктуризована і підлягає знищенню за заміною іншою, що кардинально відрізняється.

Розуміючи, що після модернізації у дуже короткий термін модернізована система буде прибутковою на достатньому рівні, перед руйнуванням системи ОПР отримала максимально можливий прибуток та знищила систему з отриманням максимального прибутку від реалізації її елементів. По–друге, ОПР не врахувала усіх складових початкового завдання на модернізацію та ризику своїх дій. Якщо маємо перший варіант, то дії ОПР були повністю виправданими і привели до бажаного результату, тобто модернізована система знищується і надалі не підлягає розгляду. Якщо сценарій розвивався за іншим варіантом, то потрібно нове модернізування системи, або її переформатування,

вже зі значно більшим ризиком та зі значно більшими витратами, як це показано на рис. 6.5.

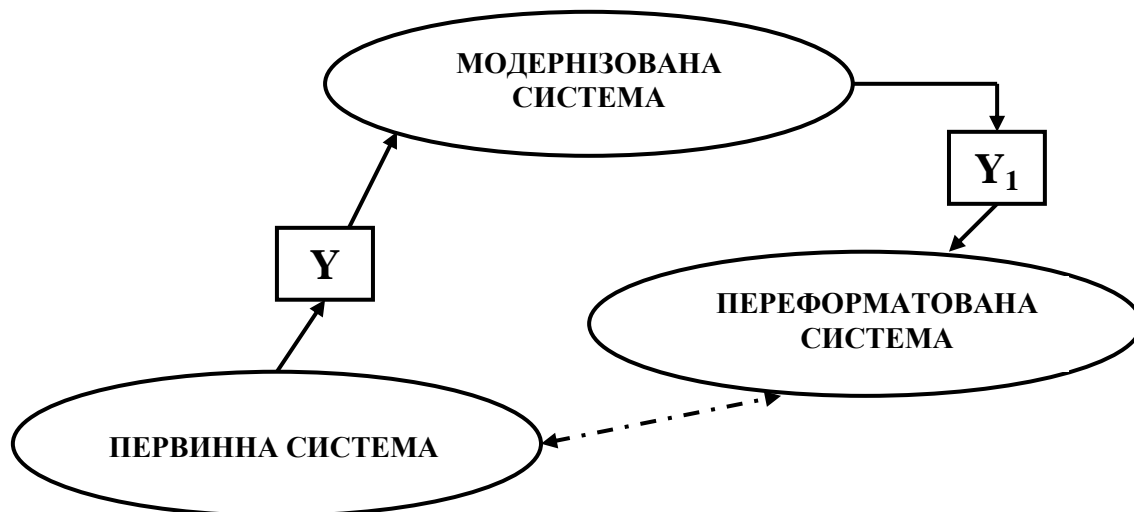


Рисунок 6.5 – Схема вторинної модернізації або переформатування системи

Потрібно відзначити, що основним розрахунком ризику у цьому випадку буде ризик перевищення витрат на вторинну модернізацію, що знов таки не буде компенсовано штатною роботою вторинної модернізованої системи. Як наслідок призведе до неможливості її поточного фінансового, технічного та кадрового утримання і знову ж – до руйнування.

Наведені приклади свідчать про те, що ефективною з точки зору глобальної модернізації системи буде тільки комплексна системна оцінка ризиків за всіма параметрами з отриманням загального ризику при визначенні факторних ризиків, тобто

$$R_{3C} = F(R_{1\Phi}, R_{2\Phi}, \dots), \quad (6.17)$$

де R_{3C} – загальносистемний ризик; $R_{1\Phi}$, $R_{2\Phi}$, ... – ризики за окремими факторами.

Формування функціональної залежності F та розв'язання рівняння (6.17) потребує первинних досліджень за вагомістю кожного з факторів ризику для особи, яка приймає рішення. Для цього пропонується двохетапний метод визначення оцінки глобального ризику відмови системи після модернізації

внаслідок помилки у початковому завданні. Серед багатьох методів визначення вагових коефіцієнтів ризиків за окремими факторами в умовах модернізації існуючої системи найбільш прийнятним є метод багатофакторного аналізу для визначення множини значущих факторів. При його застосуванні потрібно виконати таку послідовність дій:

- 1) визначити допустимий рівень значущості окремих факторів ризику – α ;
- 2) визначити факторну структуру;
- 3) визначити максимальну кількість факторів ризику, що аналізуються, за допомогою критерію Кеттела;
- 4) виконати факторизацію матриці сумісних кореляцій та формування матриці факторних навантажень, визначених до процесу обертання;
- 5) здійснити процес прямокутного варімакс–обертання (varimax normalized) та проведення попередньої ідентифікації;
- 6) поліпшити якість факторної структури за принципом Герстоуна;
- 7) розрахувати умовне навантаження та факторні коефіцієнти.

Отримані в результаті наведеного алгоритму факторні коефіцієнти k_n є незалежними та відображають структуру як структуру взаємозв'язків окремих факторів, а також як вплив кожного із факторів на функціонування системи. Використовуючи t -критерій Стюдента, можна визначити ті фактори ризику, для яких вплив на функціонування системи перевищує зазначений рівень значущості, тобто визначимо відповідну множину факторів ризику так:

$$\mathfrak{R} = \{R_{n\Phi} \mid t(R_{n\Phi}) \leq t_\alpha\}, \quad \text{card } \mathfrak{R} = N. \quad (6.18)$$

Множина (6.18) дозволяє визначити вагові коефіцієнти всіх її елементів:

$$\beta_n = \frac{k_n}{\sum_{i=1}^N k_i} \quad \forall n \in \overline{1, N}; \quad \sum_{n=1}^N \beta_n = 1. \quad (6.19)$$

Для вибору критерію ефективності при застосуванні комплексної системної оцінки ризиків застосуємо ризик-орієнтований підхід із інструментарієм ймовірнісного аналізу безпеки. Для кожного окремого фактора ризику з тих, що аналізуються, визначимо нормований показник безпеки

$$P_n = \sum_{k=1}^{\theta_n} \lambda_n \left(1 - \prod_{j=1}^{M_{kn}} \prod_{i=1}^{N_{knj}} (1 - p_{knji}) \right), \quad (6.20)$$

де λ_n – частота впливу даного фактору; θ_n – кількість дерев подій, для котрих визначається відповідний показник безпеки; M_{kn} – кількість послідовностей у k -му дереві подій, що призводять до руйнування системи; N_{knj} – кількість мінімальних зрізів j -ої послідовності в k -му дереві подій для n -го фактору ризику; p_{knji} – ймовірність виникнення i -го мінімального зрізу у j -й послідовності в k -му дереві подій для n -го фактору ризику.

В свою чергу, ймовірність реалізації мінімального зрізу в загальному випадку залежить як від ймовірностей відмов підсистем або елементів, так і від похибок в обслуговуванні:

$$p_{knji} = \prod_{\xi_1 \in \Xi_{1n}} p_{n\xi_1} \cdot \prod_{\xi_2 \in \Xi_{2n}} p_{n\xi_2} \cdot \prod_{\xi_\zeta \in \Xi_{\zeta n}} p_{n\xi_\zeta}, \quad (6.21)$$

де для i -го мінімального зрізу у j -й послідовності в k -му дереві подій для n -го фактору ризику визначені: $p_{n\xi_1}$ – ймовірність відмови окремих базових подій (переважно визначається надійністю підсистем або елементів) із множини Ξ_{1n} , які в результаті оцінки відповідного дерева відмов методом мінімальних зрізів були визначені; $p_{n\xi_2}$ – ймовірність похибок в обслуговуванні при управлінні підсистемами або елементами із множини Ξ_{2n} , $p_{n\xi_\zeta}$ – ймовірність інших похибок та неопрацьованих подій, виявлених методом мінімальних зрізів.

Тоді прогнозована зміна нормованого показника безпеки за n -м фактором ризику після завершення процесу модернізації системи розраховується як

$$\Delta P_n = \frac{P_n^{(m)}}{P_n^{(b)}}, \quad (6.22)$$

де індекси (m) та (b) відповідають показникам безпеки модернізованої та базової систем.

Використовуючи (6.18) – (6.22) та враховуючи для кожного окремого фактора ризику ваговий коефіцієнт із (6.17), визначимо оцінку глобального ризику відмови системи після модернізації так:

$$P_{3C} = \sum_{n=1}^N \beta_n \Delta P_n. \quad (6.23)$$

6.4. Надійність оператора

Надійність оператора визначається як імовірність якісного виконання роботи або поставленого завдання протягом установленого терміну при заданих умовах.

Надійність діяльності людини у СЛТС визначається надійністю її організму: надійністю виконання людиною функцій з керування технічними засобами і їх обслуговування. Тому надійність оператора зазвичай подають у вигляді структурної і функціональної надійності. *Структурну надійність* розуміють як властивість людини зберігати працездатність протягом визначеного часу у певних умовах.

Функціональна надійність визначається як властивість людини виконувати визначені функції відповідно до завдання у той самий термін і за тих самих умов.

Таким чином, у загальному вигляді надійність оператора як імовірність безвідмовної роботи за термін t дорівнює

$$P_{\text{оп}}(t) = K_{\text{оп}} P_{\Phi}(t) P_{\Psi}(t), \quad (6.24)$$

де $K_{оп}$ – коефіцієнт готовності оператора, що дорівнює імовірності сприймання інформації за час t ; $P_{ф}$ – структурна надійність; $P_{ф}$ – функціональна надійність.

На безпечність функціонування СЛТС найбільше впливає функціональна надійність (далі надійність). Тому надійність оператора характеризується показниками *безпомилковості, готовності, відновлюваності, своєчасності*.

Як і для технічних засобів, основним показником безпомилковості роботи є імовірність безпомилкової роботи. Ця імовірність розраховується як на рівні окремої операції, так і рівні всього завдання (алгоритму) в цілому. На рівні окремої операції основними критеріями є вірогідність безпомилкового виконання операції, а для типових операцій, що найчастіше повторюються, – *інтенсивність помилок* (відмов).

Помилку оператора розуміють як неправильне виконання або невиконання оператором відповідних дій. Це може бути причиною пошкодження обладнання чи порушення нормального перебігу запланованої операції. Всі помилки оператора поділяють на *закономірні і випадкові*. До закономірних належать ті помилки, причини яких можуть бути виявлені, проаналізовані і ліквідовані. Причини випадкових помилок невідомі, вони мають стохастичний характер.

За природою виникнення розрізняють три види помилок оператора:

- *сенсорні*, пов'язані із сприйняттям інформації;
- *логічні*, пов'язані із прийняттям рішення;
- *моторні*, пов'язані з виконанням керуючих дій.

Отже, оператор є джерелом суттєвої небезпеки у СЛТС, оскільки виконує в ній основну функцію. Статистика вказує, що приблизно 20 – 30% відмов обладнання пов'язані з помилками людини. При керуванні літаком їх ціна підвищується. Так, за даними американського психолога П. Фіттса, до 70 % льотних подій відбувається з вини людини. За даними Р. Дженсена, найбільша кількість подій зі смертельним наслідком відбувалася з причини сенсомоторних помилок – 51,6 % (табл. 6. 2).

Таблиця 6.2 – Статистика помилок пілотів

Форми льотної роботи	Події зі смертельним наслідком		Події без смертельного наслідку	
	Частка, %	Абсолютна кількість	Частка, %	Абсолютна кількість
Процедури керування двигуном, автопілотом, ведення радіозв'язку тощо	4,6	264	8,6	2 230
Сенсомоторні акти (пілотування літаком, контроль швидкості, географічне орієнтування тощо)	43,8	2 496	56,3	14 561
Приймання рішень (оцінка наземних і бортових систем, оцінка небезпечних подій)	51,6	2 940	35,1	9 118
Усього випадків		5 700		25 978

Помилки оператора є імовірними подіями, але у їх підґрунті є причини як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру. Вплив цих факторів на виникнення небезпек показаний на рис. 6.6.

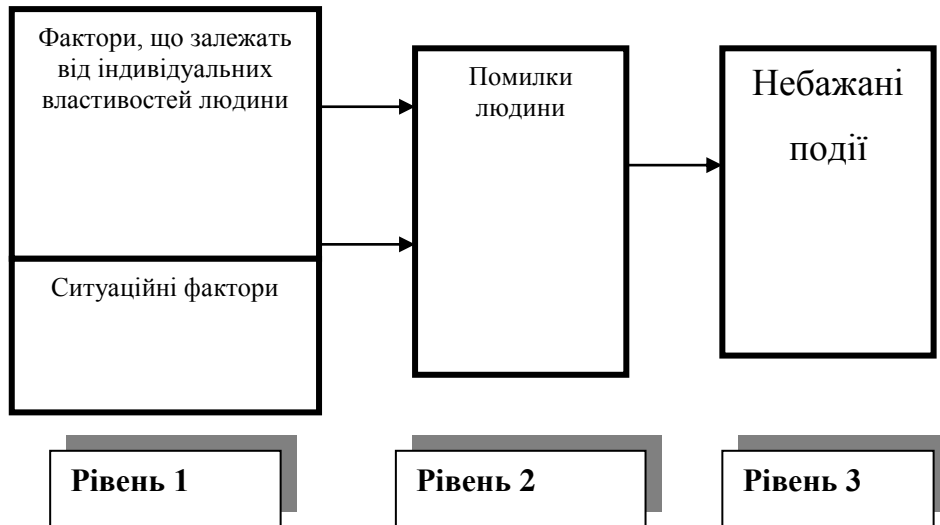


Рисунок 6.6 – Рівні виникнення небезпечних подій

Помилки, що робить оператор, можуть мати різні наслідки для людини, техніки й системи в цілому. Класифікація помилок за їх наслідками наведена на рис. 6.7.



Рисунок 6.7 – Класифікація помилок за їх наслідками

Помилки з вини оператора можуть виникати у таких випадках:

- оператор прагне досягнення помилкової мети;
- поставлена мета не може бути досягнена через неправильні дії програми;
- оператор нічого не робить або робить зайве у той момент, коли його участь необхідна.

За кількістю безпомилкових операцій W визначається ефективність оператора як ланки СЛТС

$$W = K_a W_0 R' R'', \quad (6.25)$$

де K_a – коефіцієнт творчої активності; W_0 – ідеальна ефективність, кількість операцій за одиницю часу; R' – імовірність працездатного стану оператора перед початком роботи; R'' – імовірність збереження працездатності оператора і безпомилкова реалізація завдання.

Основним показником безпомилковості є імовірність безпомилкової роботи. Ця імовірність може розраховуватися як на рівні окремої операції, так і на рівні алгоритму в цілому. За статистичними даними цей показник розраховується за формулою

$$P_J = N_J - n_J / N_J, \quad (6.26)$$

де P_J – імовірність безпомилкової роботи; N_J , n_J – загальна кількість операцій J – го виду, що виконуються і кількість допущених помилок.

Для типових операцій, що повторюються досить часто, показником безпомилковості може бути *інтенсивність помилок* λ

$$\lambda_{J=} = n_J / N_J T_J, \quad (6.27)$$

де T_J – середній час виконання операції J – го виду.

Безпомилковість оператора $P_{оп}$ під час виконання усього завдання дорівнює

$$P_{оп} = \ell^{-\sum_{i=1}^r \lambda_j \tau_j k_j} \quad (6.28)$$

де k_j – кількість виконаних операцій j – го виду; r – кількість різних операторів.

Коефіцієнт готовності $K_{оп}$ характеризує включення оператора в роботу у будь-який час

$$K_{оп} = 1 - T_0 / T, \quad (6.29)$$

де T_0 – час відсутності оператора на робочому місці, або час неможливості сприйняття інформації; T – загальний час роботи.

Відновлюваність $P_{від}$ оцінює імовірність виправлення зробленої помилки

$$P_{від} = P_k \cdot P_{п} \cdot P_{випр}, \quad (6.30)$$

де $P_{від}$ – імовірність сигналу контролю; $P_{п}$ – імовірність виявлення помилкових дій; $P_{випр}$ – імовірність виправлення помилкових дій.

Основним критерієм своєчасності $P_{св}$ є імовірність виконання завдання за час t_l

$$P_{св} = P\{\tau \leq t_l\} = \int_0^{t_l} f(\tau) d\tau \quad (6.31)$$

де $f(\tau)$ – функція щільності розподілу.

Ця імовірність може бути визначена і за статистичними даними

$$P_{св} = 1 - N_{нс} / N, \quad (6.32)$$

де $N_{нс}$ – кількість несвоєчасного виконання завдань; N – загальна кількість виконаних завдань.

6.5. Фактори надійності оператора

Надійність оператора залежить від багатьох факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру (рис. 6.8).



Рисунок 6.8 – Класифікація факторів, що впливають на надійність роботи оператора

Суб'єктивні фактори залежать від стану оператора, його індивідуальних властивостей, морально–психологічних якостей, медико–біологічних показників, а також рівня підготовки до цього виду діяльності. Вони мають враховуватися під час організації діяльності оператора, що забезпечить безпеку функціонування СЛТС.

Серед суб'єктивних факторів, що впливають на надійність оператора, важливе значення має функціональний стан оператора. Розрізняють – *нормальний, граничний і патологічний* стани. Кожний стан має свої ознаки, які

можуть бути визначені на основі медико-фізіологічних та виробничих показників.

Для оцінки функціонального стану організму використовують показники поточних змін фізіологічних функцій (сили і витривалості м'язових груп, серцево-судинної і нервової систем та ін.), що характеризують рівень працездатності і втоми під час праці, показники більш віддалених наслідків роботи. Якщо рівень більшості функцій центральної нервової системи, аналізаторів, периферійних систем і органів після роботи вищий, ніж до роботи, то функціональний стан організму нормальний.

Граничний функціональний стан проявляється у сповільненні (погіршення) деяких функцій, які входять до складу робочого акту, що призводить до неточних, зайвих рухів і зниження якості роботи.

Патологічний стан характеризується функціональною недостатністю деяких важливих підсистем організму. Позитивні сигнали людина може не сприймати, а негативні, навпаки, можуть викликати дії, що призводять до помилок, а отже, сприяють виникненню небезпечних ситуацій. Згідно з цими станами, які формуються в організмі людини під впливом трудових навантажень і умов праці, визначають ступінь важкості праці.

Індивідуальні особливості оператора визначаються загальним станом його здоров'я, станом нервової системи, психофізіологічними властивостями. Від індивідуальних особливостей людини залежить здатність людини до навчання й тренування. Вони є підґрунтям професійного відбору.

Індивідуальні особливості оператора визначають на підставі:

- безпомилковості;
- працездатності;
- витривалості й готовності до екстреної роботи;
- стійкості до перешкод;
- емоційної стійкості;
- відновлення працездатності під час відпочинку;
- багатоваріантності способів і прийомів роботи;

- гнучкості й здатності своєчасно змінювати стратегію дій;
- швидкості прийняття і виконання рішення та ін.

Суттєвим при визначенні індивідуальних особливостей оператора є властивості нервової системи: сила, динамічність, лабільність і рухомість нервових процесів.

Сила нервових процесів характеризується витривалістю нервових клітин, тобто їх здатністю витримувати тривалу і дуже сильну напругу, без переходу у позамежне гальмування. Динамічність нервової системи розуміють як швидкість умовних рефлексів, тобто здатність до навчання. Лабільність – властивість нервової системи, пов'язана із швидкістю виникнення, перебігу і припинення нервового процесу. Рухомість нервової системи характеризується швидкістю їх протікання. Вона визначає здатність до швидкої зміни одного нервового процесу іншим. Рухомість визначає швидкість обробки інформації мозком і швидкісні параметри процесу прийняття рішення оператором.

Значне місце серед психічних процесів, що впливають на якість роботи оператора, займає увага. Вона характеризується появою вибіркової готовності мозку до відповідних реакцій на певні сигнали. При цьому відбувається підвищення чутливості аналізаторів та зменшення латентного періоду до очікуваних сигналів, підвищення готовності виконавчого апарату для цих сигналів. Від уваги залежить рівень налаштованості людини до сприймання і переробки інформації. Надійність оператора залежить від фактора розподілу і переведення уваги.

Об'єктивні фактори поділяють на дві групи: *ергономічні та середовища*. До факторів середовища належать фактори умов праці й фактори трудового процесу.

6.6. Фактори середовища

До факторів середовища належать фактори умов праці і фактори трудового процесу. Умови праці – це сукупність факторів виробничого

середовища, що впливають на здоров'я і працездатність людини. Виробниче середовище – це середовище, де людина здійснює свою трудову діяльність.

Фактори виробничого середовища включають певну сукупність санітарно–гігієнічних, психологічних та естетичних елементів виробничого середовища, які діють на людину на її робочому місці. Вони суттєво впливають на функціональний стан і працездатність операторів (рис. 6.9).

У нормативному документі «Гігієнічна класифікація умов праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до фізичних факторів виробничого середовища належать :

- вібрація (загальна і локальна);
 - шум;
 - інфразвук;
 - ультразвук;
 - неіонізуючі випромінювання (радіочастотного діапазону, діапазону промислової частоти, оптичного діапазону (лазерне випромінювання);
 - мікроклімат у приміщенні (температура повітря, швидкість руху повітря, відносна вологість повітря, інфрачервоне випромінювання);
 - температура зовнішнього повітря (при роботі на відкритому повітрі) узимку й улітку;
 - атмосферний тиск (підвищений і понижений);
- до хімічних факторів належать:
- шкідливі хімічні речовини 1– 4 класів небезпеки;
 - пил переважно фіброгенної дії;

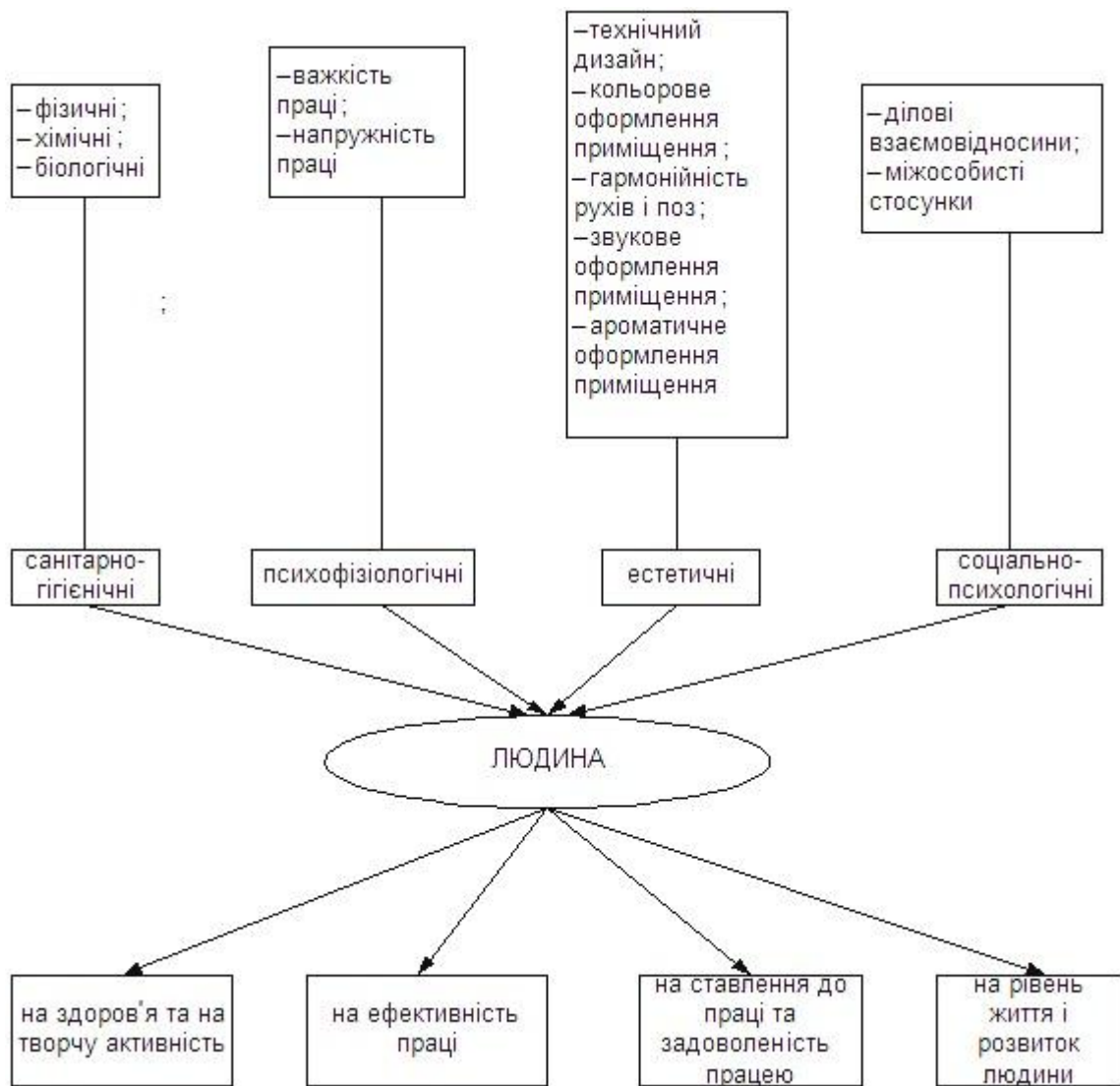


Рисунок 6.9 – Фактори виробничого середовища і їх вплив на оператора

до біологічних факторів належать:

- мікроорганізми 1–4 класу небезпеки;
- білкові препарати 1–4 класу небезпеки;
- природні компоненти організму (амінокислоти, вітаміни тощо) 1–4

класу небезпеки.

Регламентують умови праці санітарні норми. Виділяють таку класифікацію санітарних норм:

- за призначенням (проектування промислових підприємств, санітарний стан підприємств, техніки безпеки та виробничої санітарії, норми для окремих видів виробничих шкідливостей тощо);

- за обов’язковістю застосування (обов’язкові та рекомендовані);
- залежно від впливу умов праці на організм людини (оптимальні та допустимі);
- залежно від сфери застосування (загальні та галузеві);
- залежно від терміну дії (постійні та тимчасові).

При визначенні характеру впливу на людину факторів умов праці виходять із таких установлених гігієнічних нормативів :

- гранично допустимі рівні виробничого фактора (ГДР) – рівень виробничого фактора, дія якого при роботі встановленої тривалості за час всього трудового стажу працівника не призводить до травм, захворювання чи відхилення у стані здоров’я в процесі роботи, або у віддалені періоди життя теперішнього і наступного поколінь. Цей норматив застосовується для оцінки дії на людину фізичних факторів);

- гранично допустима концентрація (ГДК) – концентрація, яка при щоденній (крім вихідних днів) роботі протягом 8 годин або іншої тривалості, але не більше 41 год. за тиждень, за час усього стажу роботи не може викликати захворювань або відхилень у стані здоров’я.

Цей норматив застосовується для оцінки дії на людину переважно хімічних факторів середовища.

Значення гігієнічних нормативів регламентовані нормативно–технічними документами і стандартами з безпеки праці. Для додержання цих нормативів застосовують заходи і засоби захисту працюючих.

Вивченням факторів виробничого середовища, організаційно–технічних і санітарно–гігієнічних умов, у яких відбувається трудова діяльність людини, а також системи правових заходів з виконання правил безпеки та виробничої санітарії є предметом навчальних дисциплін «Основи охорони праці» та «Охорона праці в галузі».

На діяльність операторів СЛТС найбільше впливають: мікроклімат, шум та рівень освітленості виробничих поверхонь.

Вплив цих факторів на працездатність оператора відбиває функція відкриття, що має вигляд

$$Z(x,t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \sum_{i=1}^m (\epsilon_1 + \epsilon_i t)x_i + \sum_{i=1}^m \epsilon_i x_i x_J + \sum_{i=1}^m c_i x_i^2, \quad (6.33)$$

де $a_0, a_1, a_2, \epsilon_i, c_i$ – постійні коефіцієнти функціонального ряду при перемінних t, x_i, x_J , що відображають поточний час роботи, температуру зовнішнього середовища, освітленість робочого місця і виробничий шум.

Психофізіологічні фактори визначають особливості трудового процесу у СЛТС. Вони представлені такими показниками, як важкість і напруженість праці. Важкість праці є кількісною характеристикою фізичної праці. Напруженість – кількісна характеристика розумової праці.

Важкість праці розуміють як ступінь навантаження на м'язову систему та фізіологічні витрати внаслідок цього навантаження. Напруженість праці характеризує навантаження на організм, що виникають унаслідок інтенсивної роботи мозку при отриманні і переробці інформації.

Важкість праці оцінюється за показником статичного і динамічного навантажень. Статичне навантаження визначають як добуток зусилля і часу його підтримання при виконанні конкретної роботи. Потім усі величини за окремі відрізки часу підсумовують і отримують статичне навантаження за весь термін роботи. Обсяг динамічного навантаження за кожний окремий відрізок часу вираховують за формулою

$$W = [PH + (PL/9) + (PH_1/2)] K, \quad (6.34)$$

де W – робота (кгс · м); P – маса вантажу (кгс); H – висота, на яку піднімається вантаж з вихідного положення; L – відстань, на яку переміщується вантаж (м); H_1 – відстань, на яку опускається вантаж (м); K – коефіцієнт, що дорівнює 6.

Потім підсумовують показники динамічної роботи за всі відрізки робочого часу. При розумовій праці основною є аналітико-синтетична функція

центральної нервової системи, значущими факторами – кількість одночасно перероблюваної інформації, її новизна, складність переробки і необхідність запам'ятовування, емоційне напруження.

Напруженість праці оцінюється за показниками, що характеризують інтелектуальні властивості: *сенсорні, емоційні навантаження, монотонність та режим праці.*

Для операторів СЛТС ключовою є функція аналізаторів, а значущими елементами напруженості праці – сила сигналів, ступінь їх розпізнавання і щільність, складність інформації, емоційне напруження та ін. Ці фактори суттєво впливають на надійність оператора СЛТС. Перевантаження інформацією може призвести до її пропусків, помилок в обробці, затримки відповіді тощо. Підвищенню надійності сприяє самоконтроль, який дозволяє своєчасно попередити або знайти помилки, допущені під час роботи.

За рівнем напруження розрізняють:

– помірне, або нормальний робочий стан, який виникає під впливом праці. Воно супроводжується помірними зрушеннями фізіологічних функцій та виявляється в доброму самопочутті, стабільному виконанні роботи;

– підвищене, що виникає в екстремальних умовах роботи і виявляється в зміні показників роботи вегетативних органів, опорно–рухового апарату, біохімічних реакцій. Під час такого стану порушуються силові рефлексії на подразники. Це може бути причиною виникнення небезпеки у СЛТС.

Емоційне напруження оператора після виконання особливо відповідальної роботи супроводжується психічним виснаженням (функціональною астеною). Відзначається слабкість процесів збудження (недостатня рухливість, пасивність, сповільнене мислення, або гальмування, (помірно виражена рухова метушливість, неглибокий аналіз і оцінка подій). Такий стан може тривати протягом 1–3 години (рідше добу), після чого з'являються головний біль, стомленість, апатія, неглибокий сон. Відмічається погіршення пам'яті, сприймання. Тривалі і сильні емоційні напруження оператора негативно впливають на його діяльність, а отже, є небезпечними для

нього, оскільки призводять до нервово–емоційних зривів і погіршення стану здоров'я.

Основними напрямками забезпечення безпеки діяльності оператора, відповідно й усієї СЛТС, є зменшення емоційного напруження і підвищення надійності його роботи, врахування та погодження конструкційних рішень технічної ланки системи із можливостями людини під час проектування та експлуатації цих систем.

Психофізіологічне вивчення діяльності оператора дозволило виділити *мінімальний, оптимальний та екстремальний* режими роботи, у яких надійність оператора суттєво відрізняється.

Мінімальний режим роботи характеризується недовантаженістю інформацією, монотонність призводить до втрати пильності, гіпнотичних станів оператора. Це може бути причиною несвоєчасних дій на аварійні сигнали, виникнення аварій, катастроф.

Оптимальний режим роботи характеризується комфортними умовами. Робота виконується без значних нервово–психічних навантажень.

Екстремальний режим роботи визначається різко підвищеними вимогами до інтелектуальних та емоціональних властивостей людини.

Оцінка праці за факторами трудового процесу проводиться згідно з гігієнічною класифікацією. Найважливіші фактори трудового процесу наведено в табл. 6.3.

За нормативним документом «Гігієнічна класифікація умов праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» умови праці поділяються на 4 класи: I клас – оптимальні умови праці, II клас – допустимі умови праці, III клас – шкідливі умови праці, IV клас – небезпечні (екстремальні) умови праці.

Таблиця 6.3. Фактори трудового процесу

Фактор	Трудовий процес	Фактор	Трудовий процес
I. Важкість праці	<p>1) динамічна робота (потужність зовнішньої роботи; маса вантажу, що піднімається і переміщується; дрібні стереотипні рухи кистей і пальців рук);</p> <p>2) статичне навантаження (величина навантаження за зміну при утриманні вантажу руками; за участю м'язів тулуба</p>	II. Напруженість праці	<p>1) увага (тривалість зосередження, щільність сигналів у середньому за годину);</p> <p>2) напруженість аналізаторних функцій (зору, слуху);</p> <p>3) емоційна та інтелектуальна напруженість;</p> <p>4) одноманітність (кількість елементів у багаторазово повторюваних операціях; тривалість виконання повторюваних операцій; час спостереження за перебігом виробничого процесу без активних дій).</p>

До соціально-психологічних факторів виробничого середовища відносять:

- ділові взаємовідносини;
- міжособистісні стосунки.

Ділові взаємовідносини визначаються змістом завдання, що вирішується, штатним розписом, службовими інструкціями тощо. За своїм характером вони можуть бути як безпосередні (міжособистісне спілкування), так і опосередковані за допомогою інших людей або технічних засобів.

Міжособистісні стосунки виникають на основі суб'єктивних відносин між працівниками і будуються на принципах моральних групових норм поведінки, суб'єктивних установок і стереотипів, почуттів симпатії або антипатії, довіри або недовіри, притягування або відштовхування, вдячності або негативізму.

Ефективність діяльності виробничого колективу може бути описана як функція з чотирьох компонентів:

$$E = K_1(K_2E_{\text{пс}} + K_3E_{\text{к}} + K_4E_{\text{пр}} + K_5E_{\text{ос}}); \quad (6.35)$$

де $E_{\text{пс}}$ – психосоціальна ефективність; $E_{\text{к}}$ – ефективність комунікацій; $E_{\text{пр}}$ – професійна ефективність; $E_{\text{ос}}$ – складова ефективності за рахунок сприяння психологічного клімату; K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – відповідно константи повної ефективності, психосоціальної ефективності, ефективності комунікацій, професійної ефективності і сприятливості психологічного клімату.

Ефективність роботи оператора повною мірою залежить від психологічного клімату, що створюється на виробництві. Складові ефективності за рахунок психологічного клімату ($E_{\text{ос}}$) визначаються при невеликій напруженості ($0 \leq S \leq 10$) за рівнянням:

$$E_{\text{ос}} = 0,5833 (C_1 + C_2)/2; \quad (6.36)$$

де C_1 і C_2 показники спрацьованості групи.

Психологічний клімат визначається через задоволеність міжособистісними відносинами по вертикалі (керівник – підлеглі) й

горизонталі (виконавці), а також через задоволеність змістом діяльності, що полягає у сумісності й спрацьованості.

Сумісність – це ефект взаємодії людей, який означає максимальне суб'єктивне задоволення партнерів один одним. Суб'єктивна задоволеність, задоволеність спілкуванням – основні ознаки сумісності.

Спрацьованість – це результат взаємодії конкретних учасників діяльності. Вона характеризується продуктивністю, емоційно–енергетичними витратами та задоволеністю собою, партнерами, змістом роботи.

Взаємовідносини та взаємодія колективу у процесі діяльності значною мірою залежить від узгодженості думок членів групи відносно напряму пошуку можливих рішень і оцінки наслідків їх прийняття у будь–яких ситуаціях, психічної привабливості один для одного.

6.7. Ергономічні фактори

Ергономічні фактори надійності оператора включають гігієнічні, антропометричні, фізіологічні, психофізіологічні, психологічні фактори.

Гігієнічні фактори визначають умови життєдіяльності і працездатності людини в процесі взаємодії з технікою і середовищем. Показниками є рівень освітлення, температура, вологість, шум, вібрація, токсичність, загазованість тощо.

Антропометричні фактори визначають відповідність конструкцій техніки антропометричним характеристикам людини (зріст, розміри тіла і окремі рухові ланки). Показниками є раціональна робоча поза, оптимальні зони досягнення, раціональні трудові рухи).

Фізіологічні та психофізіологічні фактори визначають відповідність техніки і середовища функціональним можливостям працівника (силовим, швидкісним, енергетичним, зоровим, слуховим). Показниками є темп робочих рухів, обсяг інформації, навантаження на м'язову та нервову системи.

Психологічні фактори визначають відповідність техніки і середовища можливостям працівника щодо сприймання, переробки інформації, прийняття і реалізації рішень.

Дослідження впливу цих факторів на СЛТС із метою створення для працівника досконалих знарядь і оптимальних умов праці є об'єктом науки *ергономіки*. На підставі цих досліджень відбувається проектування, яке передбачає аналіз характеристик об'єкта керування, розподіл функцій між людиною та машиною, узгодженості діяльності оператора і технічних засобів, оцінку системи в цілому.

Необхідність врахування людського фактора при проектуванні СЛТС потребує погодження предметного середовища з можливостями людини. Погодження характеристик людини і предметного середовища здійснюється в просторовому, часовому, інформаційному, енергетичному напрямках.

Просторове погодження передбачає організацію робочого місця працівника, робочу позу, визначення зон досягання, траєкторії рухів, доступність органів керування тощо.

Часове погодження враховує динаміку працездатності з виконанням роботи, її темпу, інтенсивності, зміною діяльності і відпочинком.

Інформаційне погодження пов'язане з оцінкою потоків інформації та пропускну здатністю аналізаторних функцій щодо сприйняття і переробки інформації, врахуванням перешкод.

Енергетичне погодження враховує вплив трудових навантажень на м'язову, серцево–судинну системи на основі встановлення оптимального обсягу рухової діяльності, величини м'язових зусиль залежно від умов праці.

Організація робочого місця передбачає вирішення таких основних завдань:

- правильне розміщення робочого місця у виробничому приміщенні;
- вибір раціональної робочої пози;
- раціональне розміщення індикаторів і органів керування згідно з їх важливістю і частотою користування в межах поля зору і зон досягання;
- забезпечення оптимального огляду робочого місця;

- відповідність конструкції технічних пристроїв і робочих меблів антропометричним, фізіологічним і психологічним характеристикам людини;
- організація пересування людини;
- відповідність інформаційних потоків можливостям людини щодо сприймання і переробки інформації;
- забезпечення сприятливих санітарно–гігієнічних умов праці.

Діяльність людини у СЛТС пов'язана із сприйняттям від засобів відображення інформації різних сигналів. Вони є технічною основою для побудови інформаційної моделі оператора і тому суттєво впливають на безпеку функціонування системи.

Основними ергономічними вимогами до інформаційної моделі СЛТС є:

- 1) обсяг, структура й форма подання інформації повинні відповідати розв'язуваним завданням, що вирішуються, і психофізіологічним можливостям оператора, адекватно відображати об'єкт керування і навколишнє середовище;
- 2) за кількістю інформації бути лаконічною, запобігати як недовантаженню, так і перевантаженню оператора;
- 3) форма подання інформації не повинна вимагати від оператора її додаткового перекодування.
- 4) інформація має відображатися з таким ступенем точності, який потрібний для вирішення оператором покладених на нього завдань;
- 5) розміщення інформаційної моделі має відповідати найімовірнішій послідовності їх обслуговування оператором;
- 6) інформаційна модель має давати змогу оператору прогнозувати характер розвитку ситуацій;
- 7) характеристики сигналів, що подаються оператору, мають забезпечувати необхідний рівень їх диференційного сприймання;
- 8) для більшої рівномірності завантаження аналізаторів оператора основна інформація має оптимально поділятися між ними.

Виходячи з цих вимог, основні принципи компонування засобів відображення інформації такі:

• *лаконічність* – засіб відображення інформації має містити лише ті елементи, які необхідні для забезпечення оператора інформацією про стан об'єкта керування і засоби впливу на нього;

• *важливість* – най важливіші інформаційні пристрої і органи керування розміщуються в найбільш зручних для керування місцях;

• *черговість* – інформаційні пристрої та органи керування розміщуються в тій послідовності, в якій вони використовуються;

• *частота використання* – інформаційні пристрої та органи керування розміщуються у центральному полі зору;

• *функціональний взаємозв'язок* – інформаційні прилади або органи керування, пов'язані однією функцією, повинні бути згруповані разом.

Ергономічні вимоги до конструкцій робочих місць стосуються:

- конструктивного виконання робочих місць та елементів їх розміщення елементів на робочому столі;

- ергономічної організації пульта управління.

Конструкція робочого місця має забезпечувати оператору можливість швидко зайняти його, змінити положення тулуба і кінцівок, прийняти зручну позу для відпочинку та ін.

Вибір органів керування визначається властивостями параметрів об'єкта або системи керування, й залежить від типу впливу оператора на систему. Незалежно від типу органів керування вони мають бути логічно згруповані, їхнє просторове розміщення має відповідати розміщенню пов'язаних із ними груп індикаторів. Спрямованість рухів органів керування має враховувати сформовані сенсорно-моторні навички людини.

Запитання для самоконтролю

1. З чого складається системний аналіз, що використовується для оцінки системи «людина – техніка – середовище» (СЛТС)?

2. Які три види подій розрізняють при побудові дерев у графоаналітичних