

УДК 658.012.011.56

Г.Г. ГРАБОВСЬКИЙ*, М.Г. ІЄВЛЄВ**, С.Є. МОЙСЕЄНКО**

ВЗАЄМОДІЯ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА З АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

*ДНВК «Київський інститут автоматизи», м. Київ, Україна

**Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. Технологія взаємодії ЕОМ і людини є важливою науковою проблемою. Саме науково обґрунтовані технології взаємодії двох інформаційних систем – людини та ЕОМ – дозволяють оптимізувати людську діяльність. На даний час стає все більш очевидним, що найбільш перспективний шлях підвищення якості інформаційних процесів у людській діяльності, у тому числі в автоматизованих системах управління, – це спільне використання можливостей людини та технічних засобів як інформаційних систем. Внаслідок цього стає актуальним завдання вивчення основних аспектів людино-машинної взаємодії. Основна особливість людино-машинної взаємодії – це поєднання формалізованих інформаційних процесів і структур та неформалізованої (як правило, творчої) обробки інформації. Остання допомагає знаходити шляхи вирішення складних завдань, що не містяться в формальних моделях (алгоритмах), і організувати сам процес вирішення як цілісну систему. Людино-машинна взаємодія не може бути повністю алгоритмізована (в формальному розумінні), але можливе вироблення технології спільної діяльності людини і технічних систем при вирішенні задач. У статті розглянуті показники поведінки людини-оператора у взаємодії з автоматизованою системою керування, математичні моделі людини-оператора, питання оптимізації дій людини. Описана взаємодія людини-оператора з автоматизованою системою керування (АСК) показує важливу роль «людського фактора», який повинен у повній мірі враховуватися при проектуванні АСК як обов'язкова компонента керуючого комплексу АСК. Показано, що з ростом рівня автоматизації підвищується роль людини в технічних системах щодо забезпечення їх безперебійної роботи. Сформульовані критерії характеристик «людського фактора» і ергономічного оснащення робочих місць оператора.

Ключові слова: людина-оператор, автоматизована система керування, математичні моделі.

Abstract. The technology of interaction between computers (computer systems) and humans is an important scientific problem. Scientifically based technologies of the interaction of two information systems – human and computer – are the ones that will allow optimizing human activity. Nowadays, it is becoming more and more obvious that the most promising way to improve the quality of information processes in human activity, including in automated management systems, is the joint use of human capabilities and technical means as information systems. As a result, the task of studying the main aspects of human-machine interaction becomes topical. The main feature of human-machine interaction is a combination of formalized information processes and structures and informal (as a rule, creative) processing of information. The latter helps both find ways to solve complex problems that are not contained in formal models (algorithms) and to organize the solution process as a holistic system. Human-machine interaction cannot be fully algorithmized (in the formal sense), but it is possible to develop technology for the joint activity of humans and technical systems when solving problems. The article examines some indicators of human operator behavior in interaction with an automated control system, mathematical models of a human operator, and the issue of optimization of human actions. The described interaction of the human operator with an automated control system (ACS) shows the important role of the «human factor», which must be fully taken into account when designing an ACS, as an obligatory component of the ACS control complex. It is shown that as the level of automation increases, the role of a human in technical systems to ensure their smooth operation increases. Some criteria for the characteristics of the «human factor» and ergonomic equipment of the operator's workplace have been formulated.

Keywords: human operator, automated control system, mathematical models.

1. Вступ

Технологія взаємодії ЕОМ (комп'ютерних систем) і людини є важливою науковою проблемою. Саме науково обґрунтовані технології взаємодії двох інформаційних систем – людини та ЕОМ – дозволять оптимізувати людську діяльність. У даний час стає все більш очевидним, що найбільш перспективний шлях підвищення якості інформаційних процесів у людській діяльності, у тому числі в автоматизованих системах управління, – спільне використання можливостей людини та технічних засобів як інформаційних систем. Внаслідок цього стає актуальним завдання вивчення основних аспектів людино-машинної взаємодії [1, 2].

Метою цієї статті є опис взаємодії людини-оператора з комплексною системою автоматизації.

2. Показники поведінки людини-оператора у взаємодії з автоматизованою системою керування

Поведінка людини-оператора у взаємодії з комплексною автоматизованою системою керування (АСК) характеризується такими показниками:

Часом реакції: наявністю чистої часової затримки або транспортного запізнення, що можна спостерігати по реакції у відповідь оператора на ступінчасті вхідні сигнали.

Фільтрацією низьких частот: тенденцією людини, що проводить відслідковування, послаблювати високі частоти, причому, як показали безпосередній розгляд і гармонійний аналіз записів кривих відслідковування, це послаблення збільшується зі зростанням частоти.

Залежністю від задачі: здатністю оператора змінювати свої передавальні характеристики для виконання функцій керування в широкому діапазоні динамічних властивостей керованого елемента.

Залежністю від часу: залежністю характеристик оператора від часу, яка проявляється у двох формах: по-перше, його характеристики змінюються з часом з тієї причини, що оператор навчається; по-друге, він може відчувати зміну параметрів навколишнього середовища і параметрів об'єкта, що керується, і відповідно змінювати свої характеристики.

Передбаченням: добре відомою здатністю людини-оператора передбачати хід процесу на основі попередніх його характеристик. Така здатність екстраполяції при відслідковуванні є важливою, оскільки це означає, що відслідковування «передбачуваних вхідних величин» (наприклад, синусоїдальних або прямокутних коливань постійної частоти) відрізняється від відслідковування вхідних величин, що випадково з'являються. Відслідковування у випадку передбачуваних вхідних величин названо «прекогнітивним» («prescognitive») відслідковуванням.

Нелінійністю: в деяких задачах поведінка оператора є, напевно, лінійною, в той же час як в інших задачах його поведінка нелінійна.

Детермінованістю: людина-оператор є недетерміністською системою, оскільки його характеристики в одному і тому ж експерименті відрізняються від досвіду до досвіду. Однак мінливість мала в ситуаціях, коли час навчання достатній і коли не вирішується важка задача. Тому детерміністська модель може використовуватися для опису характеристики людини-оператора у статистичному значенні.

Переривчастістю: велике число даних показує, що людина-оператор поводить себе при деяких операціях відслідковування як дискретна або імпульсна система.

3. Математичні моделі людини-оператора

Необхідність розробки математичних моделей людини-оператора обумовлена прагненням формалізації опису функціонування АСК із включенням людини до замкнутого контуру системи. Різними дослідженнями запропонований ряд моделей людини-оператора [3, 4]:

- квазілінійні безперервні моделі;
- дискретні або імпульсні;
- безперервні моделі із квантуванням по часу при випадкових вхідних сигналах;
- нелінійні моделі;
- змінні у часі моделі.

На рис. 1 показана найпростіша структура замкнутої системи керування, до якої включений елемент, що імітує людину-оператора.

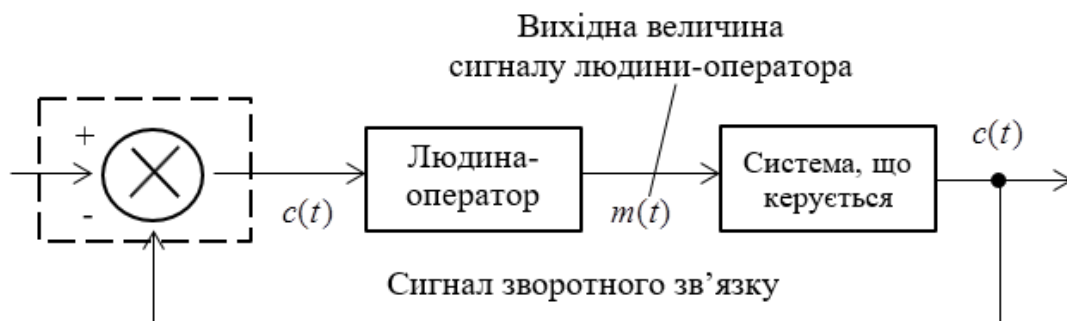


Рисунок 1 – Структура системи керування з ланкою «людина-оператор»

Нижче наводиться декілька варіантів квазілінійних безперервних моделей людини-оператора, запропонованих різними дослідниками. Наприклад, наведена нелінійна модель, заснована на гармонійному аналізі вихідних величин:

$$G_n(p) = K \left(\frac{K_1}{p} + K_2 \right) e^{-Dp}, \quad (1)$$

де p – комплексна змінна;

D – часова затримка;

K, K_1, K_2 – параметри, які залежать від вибору динамічних характеристик керованого елемента.

Другий варіант моделі, наведеної також у вигляді передавальної функції:

$$G_n(p) = K_1 p + K_2 + \frac{K_3}{p} e^{-Dp}. \quad (2)$$

Параметри передавальних функцій (1) і (2) залежать від конкретної задачі керування. При побудові цих моделей припускається, що квазілінійна система має такі властивості:

– система може бути описана лінійним диференціальним рівнянням, коефіцієнти якого залежать від структури системи і смуги вхідного сигналу, але незмінні для системи, що досліджується;

– лінійне співвідношення визначає лише лінійну частину вихідної величини системи, додатково може бути присутньою випадкова або некорельована складова.

На основі реакції у відповідь при дії ступінчастої функції запропонована така модель:

$$G_n(p) = \frac{K(1+Tp)e^{-Dp}}{p}, \quad (3)$$

де T – часова затримка.

За результатами аналізу кривих реакцій у відповідь при дії ступінчастих вхідних дій одержана модель людини-оператора як гармонійний аналіз процесу. Для розімкнутої системи модель має такий вигляд:

$$G_{\text{роз}}(p) = \frac{K}{p^2 + 2\xi W_n p + W_n^2} e^{-Dp}. \quad (4)$$

Наведені варіанти лінійної моделі, одержані в результаті багаторазових досліджень реакції у відповідь оператора на ступінчастий вхідний сигнал. Обґрунтованість використання квазілінійної моделі визначається частиною спектра вихідної величини, яку вона показує. Дослідження квазілінійних безперервних моделей приводить до таких висновків:

- при достатньо низьких частотах лінійна незмінна модель адекватно показує основну частину вихідної величини сигналу, що видається людиною-оператором;
- за ступенем збільшення частоти характеристики людини поступово відхиляються від характеристик, очікуваних при використанні лінійних незмінних моделей.

Надійність роботи людини у складі системи визначається ймовірністю успішного виконання нею роботи або поставленої задачі на заданому етапі функціонування системи на протязі заданого інтервалу часу. Помилкою людини є невиконання поставленої задачі (або виконання забороненої дії), яка може стати причиною порушення нормального функціонування системи. Помилки людини можуть виникати в таких ситуаціях:

- людина прагне до досягнення помилкової цілі;
- поставлена ціль не може бути досягнута через неправильні дії людини;
- людина бездіяльна в той момент, коли її участь необхідна.

Характеристика людини в автоматизованій системі визначається принципами:

1. Мінімального робочого зусилля: людина-оператор повинна виконувати тільки ту роботу, яка необхідна, але не може бути виконана системою.

2. Максимального взаєморозуміння: система повинна забезпечувати повну підтримку людини. Інформація, що видається, не повинна потребувати інтерпретації або перекодування.

3. Мінімального об'єму оперативної пам'яті користувача: від людини вимагається, щоб вона пам'ятала як можна менше.

4. Максимального контролю з боку людини, що характеризується такими вимогами:

- оператор повинен мати можливість змінити черговість обробки, яка виконується системою;

- оператор повинен контролювати послідовність роботи особливо там, де немає послідовно визначених операцій.

5. Переважних можливостей, що полягають у передачі людині тих функцій, які вона виконує краще системи, а системі тих, які вона виконує краще людини.

6. Оптимальної завантаженості, що рекомендує такий розподіл функцій, при якому оператор за темпом надходження даних не відчував би ні сенсорного голоду (втрати активності), ні сенсорного перевантаження (пропущення сигналів).

7. Відповідальності, що має особливе значення в системах, де на людину покладається ряд відповідальних функцій, навіть при наявності технічних можливостей їх повної автоматизації.

Критерієм швидкодії людини-оператора служить час вирішення задачі, тобто від моменту реагування оператора на сигнал, що надійшов, до моменту закінчення керуючих діянь. Цей час пропорційний кількості інформації, що перероблюється:

$$T_B = v + Q/V,$$

де v – прихований час реакції, тобто проміжок від моменту появи сигналу до реакції на нього оператора;

Q – кількість інформації, що перероблюється;

V – середня швидкість переробки інформації.

Надійність людини-оператора визначається її здатністю виконувати в повному обсязі покладені на неї функції при визначених умовах роботи. Надійність характеризує її безпомилковість, готовність, відновлюваність, своєчасність і точність. Імовірність P_i безпомилкового виконання операцій i -го виду і інтенсивність λ_i допущених при виконанні цих операцій помилок визначається на основі статистичних даних:

$$P_i = \frac{N_i - C_i}{N_i}, \lambda_i = \frac{C_i}{N_i T_i}, \quad (5)$$

де N_i – загальне число виконаних операцій i -го виду;

C_i – допущене при цьому число помилок;

T_i – середній час виконання операцій i -го виду.

Припускаючи, що інтенсивність помилок λ_i – постійна величина, можна визначити ймовірність безпомилкового виконання всієї операції в цілому:

$$P_0 = \exp\left(-\sum_{i=1}^r \lambda_i T_i K_i\right) = \exp\left(-\sum_{i=1}^r (1 - P_i) K_i\right), \quad (6)$$

де K_i – число операцій i -го виду, що виконуються;

r – число різних видів операцій.

Коефіцієнт готовності характеризує ймовірність включення людини-оператора в роботу в довільний момент часу:

$$K_{on} = 1 - \frac{T_0}{T_B}, \quad (7)$$

де T_0 – час, на протязі якого людина не може прийняти інформацію, що надходить до неї;

T_B – загальний час роботи людини-оператора.

Відновлюваність оператора оцінюється ймовірністю виправлення допущеної ним помилки:

$$P_B = P_1 P_2 P_3, \quad (8)$$

де P_1 – ймовірність видачі сигналу про помилку контрольною системою;

P_2 – ймовірність виявлення цього сигналу оператором;

P_3 – ймовірність виправлення помилкових дій при повторному виконанні всієї операції.

Цей показник дозволяє оцінити можливість самоконтролю оператором своїх дій і виправлення допущених ним помилок.

Швидкодія оператора оцінюється ймовірністю виконання задачі на протязі заданого часу:

$$P_{CB} = P\{T_B \leq t^*\} = \int_0^{t^*} f(t)dt, \quad (9)$$

де $f(t)$ – щільність імовірності часу рішення задачі оператором;

t^* – ліміт часу, перевищення якого розглядається як помилка.

Ця ж імовірність може бути визначена і за статистичними даними як

$$P_{CB} = \frac{N - N_{HE}}{N}, \quad (10)$$

де N – загальне число виконаних задач;

N_{HE} – число задач із несвоєчасним виконанням.

Точність – ступінь відхилення вимірюваного оператором кількісного параметра системи від його істинного або заданого значення. Кількісна точність оцінюється похибкою, з якою оператор вимірює або регулює даний параметр:

$$\Delta A = A_i - A_{оп}, \quad (11)$$

де A_i – істинне або задане значення параметра;

$A_{оп}$ – фактично вимірюване або регульоване оператором значення цього параметра.

Значення похибки, що перевищило допустимі межі, потрібно враховувати при оцінці надійності. Точність оператора залежить від характеристик сигналу, складності задачі, умов і темпу роботи, стану нервової системи, кваліфікації та інших факторів.

4. Оптимізація дій людини

Автоматизація і надійність людини не є взаємовиключними поняттями. При розгляді, наприклад, різних подій у випадку порушень у промислових установках, особливо у високоавтоматизованих системах, порушення у значній мірі пов'язані із взаємодією людини з об'єктом, способами його поведінки у специфічних граничних умовах, а також властивостями технічних систем при ситуації порушення, що виникла (наприклад, авіаційні катастрофи або Чорнобиль). Але і несуттєві порушення, які в більшій мірі впливають на роботу технологічної установки, ніж на безпеку об'єкта, часто визначаються взаємодією людини з установкою. Такі дрібні порушення, однак, можуть суттєво впливати на економічну ефективність виробництва.

Всупереч очікуванню при підвищенні рівня автоматизації зростає роль людини в технічних системах щодо зниження їх безпомилкової роботи. Пояснюється це такими факторами:

- Зі збільшенням числа компонент зростає також імовірність того, що будь-яка компонента реагує помилково. Лише людина в таких ситуаціях здатна оцінити, що автоматично здійснюване діяння є правильним і потрібним для процесу.

- Зростає число можливих комбінацій відмов. При відмові низки ланок автоматичної системи тільки людина володіє здатністю оцінити ситуацію, що виникла, вирішити, що дійсно трапилось, з якої причини, а також про те, що необхідно зробити.

- При зростанні числа компонент, необхідних для реалізації високоавтоматизованої системи, обслуговуючим персоналом повинно виконуватися більш значне число задач. Тому дії людини зміщуються з рівня керування і регулювання на рівень обслуговування і контролю.

Виходячи зі сказаного, для забезпечення безпеки і готовності системи в цілому потрібне узгодження технічної системи і дій людини. Як показують дослідження, з урахуванням надійності людини у взаємодії з системою створюється значний потенціал автоматизації. Для його реалізації необхідно мати інформацію і моделі, які забезпечать дані як про здібності людини, так і про її можливі помилки.

Для оцінки людської надійності, тобто «людського фактора» (HF – human factor), розроблена низка методів, опублікованих, наприклад, у [5]. Відомими і застосовуваними методами є:

1. Методика прогнозування частоти людських помилок (Technique for Human Error Rate Prediction – THERP).

2. Програма оцінки послідовності нещасних випадків (Accident Sequence Evaluation Program – ASEP).

3. Модель когнітивної надійності людини (Human Cognitive Reliability Model – HCR).

Вказані методи дозволяють:

- проаналізувати якісно дії людини і ідентифікувати можливі помилкові дії;
- ідентифікувати слабкі місця і виробити необхідні заходи для їх усунення;
- подати кількісно надійність дій людини для оцінки ефективності її дій і заходів (наприклад, досягнення безпеки);
- оцінити різні можливості рішень, що приймаються для ергономічного подання стану або ходу виробничих процесів.

Особливо важливо застосування цих методів для оцінки безпеки комплексних систем (наприклад, атомних електростанцій, прокатних станів та ін.). При використанні цих методів для виробничих цілей необхідно розглянути такі аспекти.

По-перше, необхідно врахувати, що при дослідженні людської надійності предмет оптимізації і джерело інформації не є технічними компонентами, а являють собою характеристики особистості людини. Тому у принципі існує можливість, виходячи з персональних і організаційних позицій розглядання помилок особистого сприйняття, захисту даних. Це особливо важливо, коли за людськими помилками, що виникають при експлуатації установки, повинно проводитись навчання (забезпечення безпеки шляхом організаційного навчання). У принципі до феномена «людська помилка» повинен бути об'єктивний підхід: кожному із власного досвіду відомо, що людські помилки не виключені. Їх можна мінімізувати лише в тому випадку, якщо об'єктивно дослідити фактори, що впливають, і механізми взаємодії, і ці дослідження не обтяжувати посиланням на наявність провини людини.

По-друге, необхідно зауважити, що формулювання виробничих вимог за методами, що існують, далеко недостатнє через:

- особливості конкретної установки (використовувані для передбачення дані);
- варіювання людської поведінки (залежно від ланцюжка подій, знань і досвіду операторів, особливостей обробки інформації людиною (інтуїції));
- працездатність людини (ремонт автоматичної системи, інтелектуальна поведінка під час аварійної ситуації) у взаємодії з об'єктом на базі моделі, яка хоча і припускає обмеження міркувань із точки зору безпеки, але детальні виробничі умови в такій моделі відображаються недостатньо.

Для детального подання людської поведінки необхідно враховувати багато параметрів із персональної ергономічної і організаційної областей, які ж до того знаходяться у взаємодії між собою (наприклад, мотивація може бути більш високою по організаційних або ергономічних заходах). Для того, щоб численність параметрів, а також їх взаємодію належним чином подати у формі методу, який дозволить передбачити людську поведінку, потрібні:

- систематичний опис і аналіз можливих факторів, що впливають на людську надійність;
- метод для передбачення того, яку численність параметрів необхідно враховувати;
- обробка специфічних для установки даних, таких, наприклад, як події в роботі виробничої установки.

В [6] розроблений метод, який реалізує такий множинний підхід і дозволяє досліджувати події при помилках в аспекті поведінки людини в такій ситуації. Метод був реалізований у формі системи банку даних. Нижче наведені основні положення цього методу.

5. Аналіз ситуаційних вимог

Для аналізу подій теперішнього часу головним чином застосовуються методи класифікації. Для події, що виникла спочатку, здійснюється більш або менш систематизований збір інформації і вона, потім орієнтована для визначеної цілі, класифікується (в технічному виробництві, наприклад, покомпонентно або специфікою відмов, в людській надійності, наприклад, за обслуговуванням або характером виробництва та ін.). При такому методі класифікації можливі, однак, втрати у взаємозалежностях дій і можлива плутанина в тому, до яких умов і до яких технічних систем відноситься помічена помилка. Але, як було зазначено, саме аналіз взаємозв'язків дій є визначальним для розуміння поведінки людини.

Для визначення на основі подій таких взаємодій необхідно використати аналітичний метод, який, крім умов для даної помилки, відображає ситуаційні умови і дозволяє виконати необхідну оцінку. Аналітичні методи підтримують кроки, які мають важливе значення для розуміння взаємозв'язків дій і динаміки подій.

Суттєвими кроками для цього є:

- ідентифікація визначних подій стосовно людського аспекту;
- розділ подій на підаспекти;
- детальний аналіз підаспектів.

При використанні параметрів у різних методах для аналізу дій людини виявляється, що людино-машинна система (ЛМС) являє собою рівень обробки всіх суттєвих параметрів

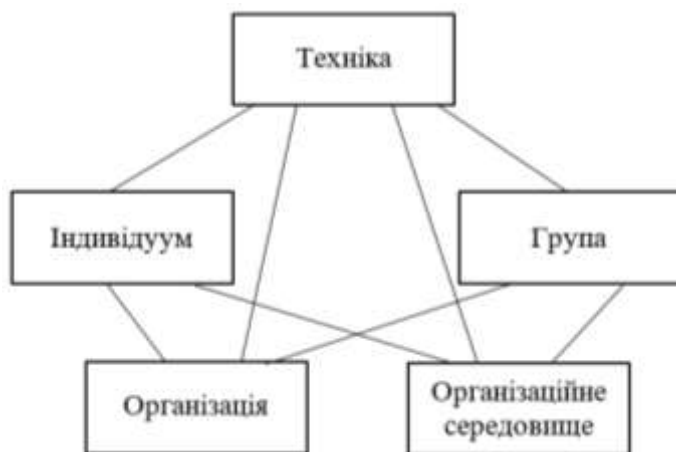


Рисунок 2 – Категорії людського фактора

(рис. 2). ЛМС здатна відображати ергономічні, персональні та організаційні фактори. Для обробки помилки, що виникає, може мати значення як засіб комунікації (наприклад, одержання заказу), так і ситуаційний аспект (наприклад, одержання і виконання заказу, а також вибір часового вікна для виконання дій). При врахуванні аспекту комунікації можна описувати також комплексні події, в яких приймає участь ряд працівників і в яких взаємодіють декілька ЛМС.

Будь-яка подія повинна бути детально проаналізована. Для цього передбачається спільна робота технічного, людського і організаційного факторів, що називається «людський фактор». У поняття «людський фактор» включаються всі аспекти, в яких людина, взаємодіючи з технічною установкою, чинить на неї вплив і вносить свою частку у виникнення події. Можна визначити п'ять категорій впливу людського фактора (рис. 3) [7]:

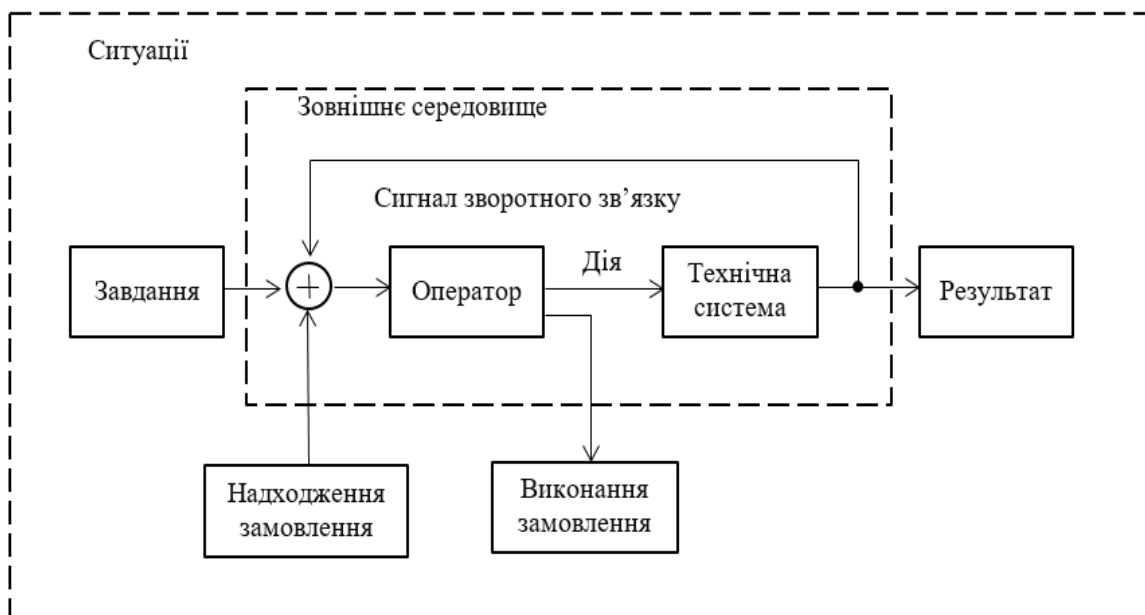


Рисунок 3 – ЛМС як елемент обробки дій людини

1. Індивідуум. Дії людини при взаємодії з технікою характеризуються, крім іншого, фізіологічними і психологічними закономірностями (наприклад, обмеженнями за об'ємом оброблюваної інформації). Кожна окрема особистість, що взаємодіє з установкою, може по-різному брати участь у події. Цей факт аналізується в області «Індивідуум».

2. Група. Її створюють особи, що виконують разом загальну задачу. Тут діють специфічні для даної групи фактори, що впливають на її учасників, такі, як тиск групи, соціальні умови праці і розподіл робочих функцій.

3. Організація. Ця область охоплює дію рішень організаційного керування, а також регулювання і структури (наприклад, планові об'єми, розподіл ресурсів).

4. Зовнішнє організаційне середовище. Сюди входять всі організації, що знаходяться за межами підприємства, але які стосуються цільових показників «безпеки», наприклад, сторонні фірми, які приймають участь у роботі даної установки, а також робота експертів і спостережних органів.

5. Техніка є важливим фактором впливу, наприклад, у формі ергономічного оснащення робочих місць та ін.

Описана взаємодія людини-оператора з автоматизованою системою показує важливу роль «людського фактора», який повинен у повній мірі враховуватися при проектуванні АСК як обов'язкова компонента керуючого комплексу.

6. Висновки

Показано, що технологія взаємодії комп'ютерних систем (КС) і людини є важливою науковою проблемою. Саме науково обґрунтовані технології взаємодії двох інформаційних систем – людини та КС – дозволяють оптимізувати людську діяльність. Розглянута взаємодія людини-оператора з комплексною системою автоматизації, наведені деякі математичні моделі людини як ланки АСК та їх дослідження. Показано, що з ростом рівня автоматизації підвищується роль людини в технічних системах щодо забезпечення їх безперервної роботи. Сформульовані критерії характеристик людського фактора і ергономічного оснащення робочих місць оператора.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Ієвлев М.Г., Грабовський Г.Г. Математичні моделі і алгоритми керування в АСК ТП товстолистових прокатних станів. К.: Техніка, 2001. 248 с.
2. Грабовський Г.Г., Ієвлев М.Г., Мойсеєнко С.Є. Концепції людино-машинної автоматизації в АСУ ТП товстолистових станів. *Математичні машини і системи*. 2022. № 1. С. 81–96.
3. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Человеко-машинные системы автоматизации. К.: НПК «КИА», 2000. 296 с.
4. Урюпов О. Надійність людини як ланки складної технічної системи. Краснодар: Краснодарський гірничий технікум, 2010. 17 с.
5. Reer B., Straeter O., Mertens J. Evaluation of human reliability analysis methods addressing cognitive error modelling and quantification. Forschungszentrum Juelich GmbH: Technical Report. Germany: Institut fuer Sicherheitsforschung und Reaktortechnik, 1996. 120 p.
6. Sträter O. Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit auf der Basis von Betriebserfahrung. Dissertation an der Technischen Universität München. GRS-138. GRS. Köln, 1997. 257 p.
7. Wilpert B. Analyse von sicherheitsrelevanten Ereignissen in verfahrenstechnischen Anlagen. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin Umweltbundesamt, 1998. P. 79–98.

Стаття надійшла до редакції 21.12.2023