



<https://orcid.org/0000-0002-3923-9495>

<https://orcid.org/0000-0001-6951-4091>

<https://orcid.org/0000-0003-4657-9006>

<https://orcid.org/0000-0002-9364-9495>

<https://orcid.org/0000-0003-1190-0314>

УДК 658.012.011.56.005:007.51

А.О. МОРОЗОВ*, В.П. КЛИМЕНКО*, Г.Г. ГРАБОВСЬКИЙ**, М.Г. ІЄВЛЄВ*,
С.Є. МОЙСЕЄНКО*

КОНЦЕПЦІЇ ЛЮДИНО-МАШИННОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ В АСУ ТП ТОВСТОЛИСТОВИХ СТАНІВ

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

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

Анотація. Сучасні автоматизовані системи управління не можуть обходитися без наявності в них спеціальних засобів організації діалогу з людиною. Основна особливість людино-машинної взаємодії – це поєднання формалізованих інформаційних процесів і структур і неформалізованої (як правило, творчої) обробки інформації. Остання допомагає як знаходити шляхи вирішення складних завдань, що не містяться в формальних моделях (алгоритмах), так 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. Роль людини в технічних керуючих системах постійно змінюється. Раніше людина була тією ланкою, яка у значній мірі під свою відповідальність здійснювала управління процесом. У міру розвитку автоматизованих систем, підтриманого все більш широким застосуванням ЕОМ, людина все активніше брала на себе функції контролюючої ланки, залишаючись при цьому спостерігачем за ходом процесу. Однак в останні роки змінюється роль людини в керуючих системах. В сучасних технічних системах людина знову відіграє провідну роль, в якій повністю розкриваються її здібності і використовуються граничні можливості з метою оптимального розподілу функцій між людиною і машиною, людиною і процесом. Людино-машинна взаємодія – це форма спільного використання резервів людини і автоматизованих систем, орієнтована в кінцевому підсумку на людину. У статті розглянуті етапи розвитку людино-машинних систем автоматизації, склад і розподіл функцій у людино-машинних системах, можливості їх виконання, аварійні ситуації в автоматизованих технологічних об'єктах, приклади людино-машинного управління в АСУ ТП товстолистових прокатних станів.

Ключові слова: людино-машинне управління, товстолистовий стан, АСУ ТП.

Abstract. Modern automated control systems can not do without the special means of organizing communication with humans. The main peculiarity of human-machine interaction is the combination of formalized information processes and structures with non-formalized (as a rule, creative) information processing. The latter helps not only find ways to solve complex problems that can not be found in formal models (algorithms) but also organize the process of problem solving as a holistic system. Human-machine interaction can not be fully algorithmic (in the formal sense), but it is possible to develop technology for mutual activities of humans and technical systems for problem solving. The role of people in technical control systems is constantly changing. Previously, a human was the link that was mostly responsible for process management. With the development of automated systems that was supported by the ever-increasing use of computers, people are increasingly taking over the functions of the control unit, at the same time keeping the role of an observer of the process. However, in recent years the role of humans in control systems has changed. In modern technical systems, they again play a leading role, which fully reveals their abilities and uses its boundary capabilities to optimally distribute the functions between human and machine, human and process. Human-machine interaction is a form of mutual use of reserves of

humans and automated systems that is ultimately focused on humans. The article considers the stages of human-machine automation systems development, the composition and distribution of functions in human-machine systems, the possibility of their implementation, emergencies in automated technological facilities, and some examples of human-machine control in ACS TP thick-sheet rolling mills.

Keywords: *human-machine control, heavy-plate mill, APCS of heavy-plate mills rolling.*

DOI: 10.34121/1028-9763-2022-1-81-96

1. Вступ

Сучасні автоматизовані системи управління не можуть обходитися без наявності в них спеціальних засобів організації діалогу з людиною. Основна особливість людино-машинної взаємодії – це поєднання формалізованих інформаційних процесів і структур і неформалізованої (як правило, творчої) обробки інформації. Остання допомагає, як знаходити шляхи вирішення складних завдань, що не містяться в формальних моделях (алгоритмах), так 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.

Метою цієї статті є опис систем людино-машинної комунікації в АСУ.

2. Етапи розвитку людино-машинних систем автоматизації

Роль людини в технічних керуючих системах постійно змінюється. Раніше людина була тією ланкою, яка у значній мірі під свою відповідальність здійснювала управління процесом. У міру розвитку автоматизованих систем, підтриманого все більш широким застосуванням ЕОМ, людина все активніше брала на себе функції контролюючої ланки, залишаючись при цьому спостерігачем за ходом процесу. Однак в останні роки змінюється роль людини в керуючих системах. У сучасних технічних системах людина знову відіграє провідну роль, в якій повністю розкриваються її здібності і використовуються граничні можливості з метою оптимального розподілу функцій між людиною і машиною, людиною і процесом. Оскільки взаємодія людини з керованим об'єктом у кінцевому рахунку орієнтована на якість протікання технологічного процесу і його результати, визначення «людино-машинна система» має сприйматися в більш широкому сенсі як взаємозв'язок «людина-машина-процес» [1, 2].

Таку ж еволюцію зазнала роль людини в системах автоматизації на товстолистових станах (ТЛС). На початку 1970-х років автоматизація на товстолистових станах (ТЛС) представляла собою у значній мірі автоматизацію окремих функцій, таких, наприклад, як регулювання швидкісних режимів механізмів стану, програмне управління натискними механізмами. Пристрої автоматизації в основному реалізовувалися апаратними засобами. Людина була відповідальна за збір інформації про процес, її взаємне сполучення і здійснення відповідних маніпуляцій.

У другій половині 1970-х років відбувся принциповий поворот у техніці автоматизації, який мав далекосяжні наслідки. Почали застосовувати перші ЕОМ, які в наступні роки привели до поступового скорочення кількості апаратних засобів в автоматизованих системах і передачі їх функцій програмним системам.

Однак, зміни, до яких призвів цей технічний прогрес, виявилися більш глибокими, ніж перенесення центру ваги розв'язуваних проблем автоматизації з апаратних на програмні засоби. Тепер функції збору інформації про процес, її взаємне сполучення і здійснення відповідних управляючих впливів значною мірою автоматизовані і передані ЕОМ. Із швидко наростаючими потужностями ЕОМ збільшувалися обсяги і відбувалося ускладнення оброблюваної інформації. З іншого боку, обробка інформації в ЕОМ забезпечила високу наочність взаємозв'язків у процесі, які зазвичай були відомі тільки розробни-

кам системи. В цілому це можна характеризувати як комплексну проблему людино-машинного управління.

У даний час людина бере активну участь у всіх етапах життєвого циклу системи автоматизації:

- розробці концепції автоматизації технологічного об'єкта;
- розробці вимог до системи;
- проектуванні системи, включаючи розробку апаратного і програмного забезпечення;
- комплектуванні системи технічними засобами;
- монтажі і введенні системи у промислову експлуатацію;
- виконанні функцій оператора як ланки замкнутої системи управління;
- технічному обслуговуванні і підтримці працездатності системи в умовах її експлуатації;
- організаційному управлінні на всіх етапах створення і реалізації системи, а також при узгодженні вимог до системи і автоматизованого об'єкта.

Основними завданнями дій людини на перерахованих етапах є забезпечення оптимізації якості людино-машинної системи, безпеки, надійності, гнучкості. Увага дослідників і проєктувальників значною мірою змістилася в область розробки і вдосконалення програмного забезпечення систем, підвищення його безпеки і надійності.

Людина, яка має дуже обмежені можливості при обробці значних обсягів інформації, наочному її сприйнятті і реагуванні в динаміці, змушена все більше переключатися з функцій управління на функції спостереження, відділятися від процесу при порушеннях і аварійних випадках, при яких вона не в змозі впоратися з виниклою ситуацією.

1980-ті роки відповідно характеризувалися тим, що людина як обслуговувач стала розглядатися як фактор перешкод і ще більшою мірою замінюватися автоматикою. При цьому робилася спроба перенести складність проблеми з обслуговувача системи на її конструктора: ставилося завдання створювати таку техніку, в якій у багатьох ситуаціях не передбачено було втручання обслуговувача (оператора) в автоматикою, що управляє процесом. Як приклад можна привести проєкти прокатних станів-автоматів, де автоматика практично без участі людини повинна була управляти технологічним процесом. Успіху такі проєкти не мали.

1990-ті роки характеризувалися поверненням до недооцінених здібностей людини у взаємодії з системами автоматизації. Сталося переосмислення централізованого розвитку автоматизації, людина поступово стає знову центральною фігурою системи, а при створенні і застосуванні систем автоматизації враховуються її здібності і обмеження.

У техніці автоматизації поряд із забезпеченням безпеки велике значення надається підвищенню якості, економічності виробництва, надійності, гнучкості та ін. Таким чином, створення системи автоматизації як програмно-технічного комплексу є багатоаспектною проблемою, в якій вирішуються наукові, проєктні та організаційно-технічні завдання, включаючи оцінку і функції людини.

3. Склад і розподіл функцій у людино-машинних системах. Можливості їх виконання

Стимулом для автоматизації багатьох систем зазвичай є те, що відповідні функції можуть бути реалізовані машинним шляхом дешевше, швидше, точніше, надійніше, безпечніше. Часто береться також до уваги те, що автоматизація складних систем спрощує маніпулювання такими системами.

Однак, судячи по сучасному стану техніки, а також стану математичного опису технологічних процесів, не всі можливі функції піддаються автоматизації, тому ще неможлива комплексна автоматизація в повному обсязі. Багато складних підфункцій управління об'єктами все ще здійснюються вручну (наприклад, кантування розкату).

У рамках ефективного розподілу функцій між людиною і машиною повинні враховуватися як науково-технічні, так і соціальні, психологічні та трудові аспекти для з'ясування того, чи відповідають заходи щодо автоматизації працездатності людини і її обмеженням, а також потребам користувача. Тільки технічні можливості автоматизації при цьому недостатні як критерій.

У число основних функцій комплексної, ієрархічно структурованої людино-машинної системи входять комунікація, збір і обробка даних, що характеризують ситуацію, планування, управління, стабілізацію (забезпечення стійкості), системне організаційне управління. Ці функції можна охарактеризувати таким чином [1, 2].

Комунікація забезпечує побудову комунікаційних зв'язків, а також посилення і прийом повідомлень. У зовнішню комунікацію входить прийом вимог і обмежень від вищестоящих або паралельних процесів. Із цього формуються завдання як цільові уставки. Повідомлення про стан системи передаються далі. Локальні комунікації стосуються усного інформаційного обміну між членами бригади.

Збір та обробка даних, що характеризують ситуацію в системі. Доцільні втручання в роботу системи припускають, що користувач кожен ситуацію, що виникає, сприймає і оцінює коректно. Для цього людина сприймає параметри стану системи і навколишнього середовища або безпосередньо природною свідомістю, або через сенсори (датчики) і засоби відображення інформації. Сприймані дані часто бувають ненадійними. Для автоматизації дані про ситуацію також повинні збиратися технічними сенсорами (датчиками). Оцінка того, що є всі відповідні і необхідні дані (симптоми), для людини так само утруднена, як і ідентифікація всіх можливих ситуацій у системі.

Оцінка наявних даних дозволяє визначити ситуацію для можливого діагнозу. Це виконується або теоретичною оцінкою можливих діапазонів, або, виходячи з досвіду, шляхом порівняння накопичених зв'язків «симптом / діагноз».

Планування означає багатоступінчастий процес, в якому з загального числа можливих дій вибираються такі, які приводять до мети, тобто забезпечують рішення. Задача планування полягає в тому, щоб шлях від встановленого вихідного стану за допомогою декількох проміжних кроків привів до цільового стану. Безліч усіх можливих шляхів вирішення визначається як простір планування. Із цього простору відповідним методом пошуку вибирається такий шлях, який виявиться оптимальним за заданим критерієм. Обраний план (стратегія управління) служить завданням для наступного рівня управління.

Управління. Шляхом порівняння планового завдання та фактичної поточної ситуації здійснюється перевірка відповідності заданому ходу процесу. При наявності відхилень від заданого плану стабілізуючому рівню видаються завдання для коректного ведення процесу.

Стабілізація. На цьому рівні порівнюються окремі параметри стану з завданням із боку рівня управління. Виявлені відхилення від завдання усуваються.

Системне організаційне управління. Виходячи із збору відповідних параметрів стану системи, що подаються засобами відображення інформації, система організаційного управління виконує два завдання:

- управління ресурсами, що стосуються використання та постачання підсистем (наприклад, реконфігурація підсистем);
- управління порушеннями забезпечує працездатність об'єкта шляхом функціональної надмірності (технічної надмірності) або шляхом компенсації порушень і ремонтами.

Функції в людино-машинних системах повинні виконуватися машинним або ручним способом. Автоматизація функцій має обмеження як із боку застосовуваної техніки, так і нетехнічних факторів.

Обмеження автоматизації. У принципі всі задачі, які мають точне визначення, можуть бути автоматизовані. Хоча в розвитку техніки датчиків і пристроїв автоматики в

останні роки досягнуто значного прогресу, результати автоматизації в деяких галузях, в тому числі і у прокатному виробництві, не дозволяють повністю виключити людину. Це обумовлено в основному такими причинами:

1. *Недостатньою автоматизацією збору інформації.* Збір даних про ситуацію на окремих ділянках об'єкта автоматизації утруднений через відсутність деяких датчиків (наприклад, датчика площинності для ТЛС), недостатню надійність датчиків (наприклад, нестабільність, дрейф нульового показання). Ці фактори не дозволяють автоматично оцінити результати управління.

2. *Недостатньою гнучкістю наявної автоматики.* Сучасні автомати особливо добре підходять для застосування за умови детермінованих обмежень. У невідомому, мінливому середовищі, при відсутності повного опису ряду процесів (наприклад, формоутворення товстого листа у просторі і у плані), наявності багатьох випадкових збурень (на ТЛС - коливання по температурі, хімічному складу і геометричних розмірах заготовок, зміни механічного та температурного профілю валків) неможливо організувати управління від ЕОМ без активної участі людини. Тут велику роль відіграють навчання і адаптація систем автоматизації.

3. *Недостатньою надійністю програмного забезпечення.* У той час, як надійність апаратних засобів може бути підвищена надмірністю, безпомилкова робота комплексного програмного забезпечення не може бути гарантована по всіх функціях (вважається, що в готовій протестованій програмі можлива одна помилка на 5000 рядків).

4. *Нетехнічними обмеженнями автоматизації.* Навіть автоматизація, що технічно реалізується, практично часто не отримує застосування. Можливими причинами є:

- недостатня економічна ефективність;
- відсутність соціологічних передумов (наприклад, ліквідація робочих місць);
- відсутність психологічної прийнятності;
- неясність у питаннях відповідальності при повністю автоматизованому виробництві або в питаннях втручання людини.

Особливо гостро ставляться питання відповідальності як вирішальна перешкода при введенні автоматизації на ряді об'єктів, де помилки в управлінні можуть призвести до тяжких наслідків.

Обмеження ручних втручання. Можливості людини при розпізнаванні образів та обробки зображень технічно реалізовані лише в окремих областях. Це стосується також і процесів прийняття рішень при неповній інформації і граничних ситуаціях. При цьому людина на відміну від автоматики не поводить себе раціонально. Більш того, вона здійснює інтуїтивно пошук рішень, які задовольняють статистичним критеріям, або здійснює заміщення процесу, що підлягає вирішенню, асоціацією з деякою ситуацією, що мала місце раніше, для якої у нього є в пам'яті рішення по колишньому досвіду. Таке рішення, однак, можливо лише на базі відповідної ментальної моделі поведінки системи.

Поряд з названими здібностями людина як компонента системи проявляє істотні недоліки, такі, наприклад, як:

- обмеженість пам'яті;
- відсутність або наявність із помилками ментальної моделі;
- обмежена надійність;
- недостатня сталість працездатності при тривалій роботі;
- упередженість і фіксованість;
- недостатня ментальна арифметика;
- обмежена смуга пропускання при ручних реагуваннях.

Чим більше виключається людина з її обмеженими можливостями із процесу управління, тим більше функцій буде передано автоматично. У цьому випадку оператор при нормальному ході процесу стає пасивним спостерігачем. Це призводить, з одного боку, до

інформаційної надмірності, з іншого, до фрагментальної завантаженості, некритичності і, як наслідок, втрати тренуваності.

Для забезпечення постійної прив'язки оператора до ходу процесу необхідно передбачати більшу кількість функцій для ручних втручань. Але це може призводити до стомлюваності через надмірні робочі навантаження, а також до перевантаження сенсорних, розумових і рухових можливостей людини.

Для автоматизації, пристосованої для людини, необхідно прагнути до симбіозу людини і машини, що об'єднує переваги автоматичного і ручного управління і одночасно компенсує їхні недоліки. Визначення цього орієнтованого на користувача розподілу функцій між людиною і машиною проводиться з урахуванням економічних, технічних, соціальних і організаційних умов на конкретному об'єкті. Процедура такого розподілу функцій описана в [1, 2].

Відповідно до вибраного рівня автоматизації в частково автоматизованій системі деякі функції бере на себе оператор (ручне управління), а інші функції виконує автоматика. Окремі задачі, що підлягають реалізації системою, повинні в часі і змістовно взаємно координуватися. Для цієї мети можуть бути застосовані послідовні або паралельні концепції. При послідовній організації людина і автоматика взаємно доповнюють один одного, послідовно виконуючи різні підфункції. При нерезервованій паралельній організації людина і ЕОМ одночасно виконують різні функції, а при резервованому паралельному поділі функцій навпаки виконують одні й ті ж задачі.

ЕОМ в людино-машинних системах можуть використовуватися, з одного боку, як автомати, а, з іншого, як асистенти. Розрізняють такі типи асистентів:

- асистенти, що інформують;
- асистенти, що радять;
- асистенти, що командують;
- асистенти-посередники.

Асистенти, що інформують, є інтегрованою інформаційною системою, до якої при необхідності звертається користувач. В її основу покладена статистична база знань, тобто така, в якій селекція знань не пристосовується до ситуації. Тому інформаційна система пасивна, тобто не видає повідомлень.

Асистенти, що радять, також спираються на системно інтегровану базу знань і завдяки цьому мають здатність збору і обробки даних про ситуацію. В результаті готується інформація у вигляді «порад», яка може використовуватися оператором за умови наявності необхідного часу.

Асистенти, що командують, застосовуються в робочих ситуаціях, які характеризуються дефіцитом часу. Підтримка від асистента в залежності від ситуації полягає у візуальній або акустичній команді, які через нестачу часу не перевіряються, а можуть лише виконуватися або ігноруватися.

Асистенти-посередники вводять обумовлені ситуацією обмеження в команди, що подаються оператором. Обмеження в одних системах є жорсткими, а в інших – адаптованими до ситуацій і користувачів.

Концепція реалізації поділу функцій людина-машина (паралельна або послідовна), використання ЕОМ як автомат або асистент визначається конкретними умовами об'єкта автоматизації, вимогами до розроблюваної системи і показників якості, які вона повинна забезпечувати.

Предметом розподілення функцій можуть бути лише такі функції, які є здійсненими для людини і для машини $F_{ручн/авт}$. Із розподілення функцій виключаються такі функції, які можуть бути здійсненими тільки людиною ($F_{ручн}$) або тільки автоматикою ($F_{авт}$). Тоді рівень автоматизації РА людино-машинної системи буде

$$PA = \frac{F_{авт}}{F_{авт+ручн}}.$$

Чим більше виключається людина з її обмеженими можливостями, тим більше функцій буде переведено на автоматику. Користувач при нормальному ході процесу стає пасивним спостерігачем. Це призводить, з одного боку, до інформаційної надлишковості, а з другого боку, для оператора, до нудьги, некритичності і втрати натренованості. Лише у виняткових випадках користувач стає активним організатором, планувальником і регулятором [3].

Автоматизація виключає навчання за помилками і тим самим формування репертуару дій, оскільки оператор лише пасивно взаємодіє з системою. Відповідальне ручне втручання через обмеження часу буде утрудненим. Через нестачу тренування і знань залишається сумнівним, чи може людина в серйозній ситуації, яка їй відведена, взагалі кваліфіковано реалізувати авторитет кінцевого рішення.

Для забезпечення постійної прив'язки користувача до ходу процесу необхідно для дотримання такої концепції якомога більше число функцій передбачити для ручних втручань. Але потрібно враховувати обмеження, оскільки це може призводити до втоми внаслідок надмірного загального робочого навантаження, а також до переазвантаження сенсорних, розумових і рухових можливостей людини.

Для автоматизації, пристосованої для людини, необхідно прямувати до симбіозу між людиною і машиною, який об'єднує переваги автоматичного і ручного управління і одночасно компенсує їх недоліки.

У відповідності з вибраним рівнем автоматизації в частково автоматизованій системі деякі функції бере на себе оператор (ручне управління), а решту функцій виконує автоматика. Окремі задачі, які потрібно реалізувати системою, повинні у часі і за змістом взаємно координуватися. Для цієї мети можуть бути застосовані послідовні або паралельні концепції. При послідовній організації людина і автоматика взаємно доповнюють один одного, послідовно виконуючи різні підфункції. При нерезервованій паралельній організації людина і ЕОМ одночасно виконують різні функції. При резервованому паралельному розділі функцій, навпаки, людина і ЕОМ виконують одні й ті ж задачі. Відхилення, які одержують шляхом порівняння результату ручного і автоматичного управліннь, служать основою для підтримки ручного управління. Відповідно до цього робота, що виконується використаною ЕОМ, розглядається як асистентські функції.

Відповідно до описаних різних варіантів застосування ЕОМ мають місце і різні варіанти організації виробництва, при яких розрізняють задіяний персонал для виконання технічних і організаційних функцій. Технічні функції характеризуються самостійністю прийняття рішень у той час, як організаційні обмежуються рекомендаціями і питаннями підготовки рішень.

Функції автоматики по вказаному розділу можна прирівняти до технічних, оскільки вони виконуються автономно, незалежно від оператора. І навпаки, використання ЕОМ у ролі асистента можна порівняти з організаційними функціями. Тому ЕОМ у людино-машинних системах можуть використовуватися, з одного боку, як автомати, а з другого, як асистенти (рис. 1).

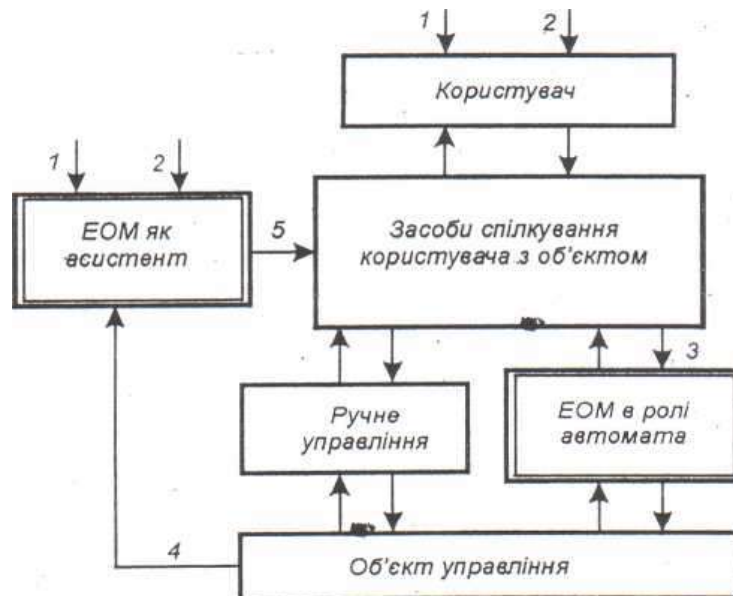


Рисунок 1 – Варіанти застосування ЕОМ як автомат і асистент в людино-машинних системах: 1 – стан навколишнього середовища; 2 – завдання мети; 3 – маніпуляції вхід/вихід; 4 – стан об'єкта; 5 – інформація від асистента

4. Ергономіка і антропологія в системах комунікацій

Ускладнення автоматизованих систем управління технологічними і виробничими процесами, перехід до інтегрованих систем, які є людино-машинними системами, пред'являє до обслуговуючого персоналу (операторів обчислювальних центрів, операторів постів управління агрегатами та ін.) все більш високі вимоги. Для задоволення цих вимог робочі місця операторів і апаратура, через яку вони взаємодіють з АСУ, повинні бути обладнані з дотриманням антропотехнічних принципів.

В області ергономіки виконані суттєві дослідження, за якими можуть бути вироблені рекомендації для оптимального обладнання приміщення обслуговування і робочих місць операторів АСУ [4–6]. Стосовно фізіології сприймання інформації головними аспектами є способи і форми її передачі людині-оператору.

Розглянемо апаратні елементи, їх розміщення і характеристики, необхідні для ефективного функціонування людино-машинної системи. Критеріями оцінки можуть бути:

- 1) оптичні інформаційні засоби і елементи обслуговування (позиціонування, читабельність, надійність, кількісна оцінка, кодування, зміщення і сумісність індикації з оператором);
- 2) повнота об'єму обслуговування установки;
- 3) можливість зворотних зв'язків за вимогами;
- 4) частота користування інформаційними засобами;
- 5) підтримка акустичними засобами;
- 6) використання засобів комунікації;
- 7) використання документації;
- 8) обслуговуваність, інструментарій, допоміжні пристрої.

Найбільш активним органом сприймання людиною інформації є зір. Найкраще сприймається зорова інформація спереду (по осі зору). Периферійна область (вліво і вправо від осі зору) забезпечує сприйняття рухомих сигналів, вона розповсюджується на кут зору, який дорівнює приблизно 90° при достатній яскравості. Це значить, що оператор спроможний сприймати мигаючий сигнал у вказаному діапазоні, якщо навіть його зір у

даний момент фіксовано на іншій точці спостереження.

Вказані діапазони проілюстровано схематично на рис. 2 [7]:

а) по вертикалі: *I* – центральний сектор огляду ($\pm 15^\circ$ – оптимальний, $\pm 22,5^\circ$ – максимальний); *II* – сектор можливого прямолінійного огляду $\pm 40^\circ$ із врахуванням повороту ока; *III* – сектор максимального кута огляду із врахуванням повороту очей і голови (вгору, вниз);

б) по горизонталі: аналогічні три сектори огляду (*I*, *II*, *III*). Прилади відображення інформації, залежно від її важливості, розташовуються перед оператором із врахуванням характеристик вказаних секторів огляду. Найважливіша інформація, яка потребує безперервного контролю і негайного реагування, розміщується в центральному секторі.

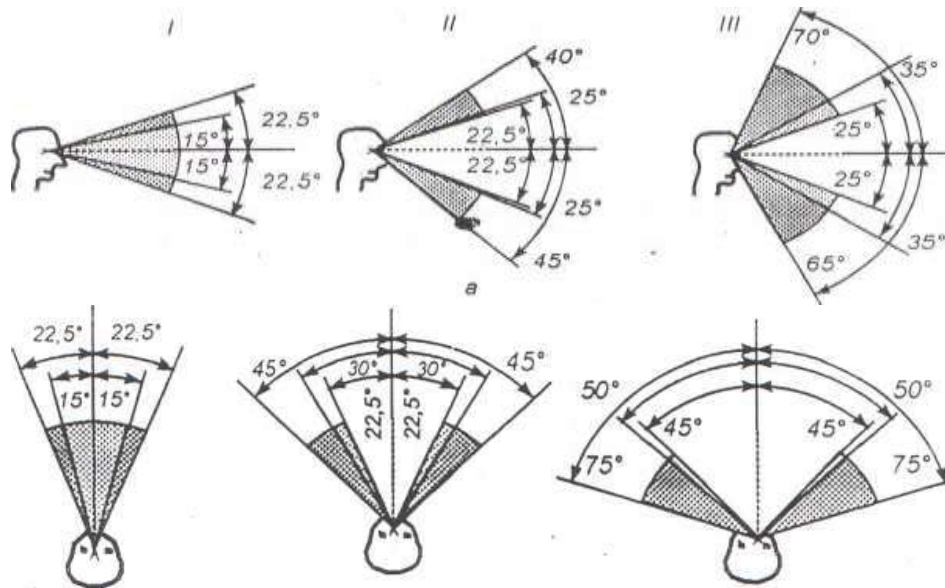


Рисунок 2 – Схематичне представлення полів зору людини:
а – по вертикалі; б – по горизонталі

Для того, щоб символи, цифри або букви добре читалися і розрізнялися, необхідно, щоб їх вісь по довжині знаку сприймалася під мінімальним кутом зору. За розміром знаків (цифр, букв) рекомендується при їх зчитуванні з відеотерміналу на відстані 1,8 м висота знаку повинна бути не менше 6,5 мм, а при відстані, що дорівнює 5 м до табло, знаки повинні мати розмір по висоті мінімум 18 мм. Символи і знаки, які з часом не змінюються, можуть мати менший розмір, оскільки персонал до них звикає і знає їх на пам'ять. Однак, інформація, що часто змінюється, і яка, як правило, подана відеотерміналами, повинна з міркувань надійності подаватися знаками більшого розміру.

Крім кута зору, для хорошої читабельності вирішальними є форма і спосіб подання символів і знаків. Табл. 1 містить відповідні емпірично вироблені рекомендації.

Для полегшення оператору виконання функцій спостереження за ходом процесу і подачі при необхідності управляючих діянь відповідні засоби відображення найважливішої інформації і органи управління повинні бути розміщені спереду в діапазоні вузького кута зору.

Таблиця 1 – Параметри для відображення на відеотерміналах знаків і символів

Параметри	Рекомендації (по відношенню до висоти символу)
Товщина ліній геометричних символів	1/10...1/8
Товщина ліній цифро-буквених символів	1/10...1/6
Ширина цифро-буквених символів відносно висоти	65–80%
Горизонтальна відстань між цифро-буквеними символами відносно їх ширини	10–30%
Розташування символів	Пряме розміщення

Слід враховувати, що не виключаються ситуації, коли мінімальні зони огляду для сприймання інформації і для подачі управляючих команд можуть не співпадати між собою. В цих ситуаціях оператору необхідно переключати зір з одного на другий об'єкт огляду, що потребує певного часу його адаптації: до зміненого напрямлення огляду, до зміненої відстані, можливо також до зміненої яскравості освітлення. Відповідні дані за часом адаптації зору людини приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Показники адаптації оператора до візуальної інформації

Параметр	Величина
Гострота зору у спокої	0,5...2 м
Зміна напрямку огляду:	
рух корпусу	1,0 с
рух голови	0,5 с
рух очей	0,005 с
Адаптація зору до зміни відстані огляду	0,5 с
Адаптація зору до зміни яскравості освітлення (на відстані 30 м)	0,1 с

5. Обмеження людини при прийомі та обробці інформації

У приміщенні оператора технологічного об'єкта знаходиться ряд контрольованих ним контурів управління. При порушеннях у роботі декількох контурів оператор переводить їх на ручне управління. Для ручного управління він повинен сприймати, обробляти, видавати необхідну інформацію. В момент збою (надходять акустичний і оптичний сигнали) для оператора починається цикл, який можна поділити на дві фази: підготовка корекції (або ручного втручання) і виконання корекції (або здійснення ручного втручання).

Причому час, необхідний для другої фази при ручному діянні, складає 250–300 мс, тривалість першої фази є невизначеною, оскільки прийом і обробка інформації залежать від конкретної ситуації управління (складності управління, стану діагностики ситуації, реакції об'єкта на корекцію, що вноситься).

Фаза підготовки корекції (1-ша фаза) містить такі часові елементи [8]:

– час реакції (відрізок часу між появою сигналу пошкодження і моментом усвідомлення людиною факту появи порушення):

$$t_p = 150 \div 250 \text{ мс};$$

– час переходу (час для подолання оператором відстані між місцем, де прийнятий сигнал порушення, і місцем, де буде прийнята і введена відповідна інформація):

$$t_n = 400 \div 800 \text{ мс/м};$$

– час пошуку (час пошуку і вибору визначальної інформації для даного збою з кількох інформацій):

$$t_{no} = 0,5 \div 10 \text{ с};$$

– час ідентифікації (час зчитування аналогової і дискретної величини вимірювання)

$$t_i = 0,3 \div 0,6 \text{ с}$$

на величину, що вимірюється;

– час рішення (час, необхідний для формування діагнозу і стратегії дії):

$$t_d = 0,2 \div 20 \text{ с}.$$

При ручному управлінні яким-небудь контуром в АСУ такі елементи, як час реакції, час переходу і час пошуку, обмежуються попередньою фазою, а час ідентифікації і час рішення циклічно повторюються.

Таким чином, до функції ручного управління входять не тільки задачі обслуговування на посту оператора. Здійснення переключень для зміни ходу процесу потребує від оператора додаткової обробки інформації, що є більш складним, ніж управління. Оператор у своїй діяльності на посту управління об'єктом може лише послідовно виконувати дії на хід процесу. Це означає, що порушення, які виникають водночас, можуть бути усунені тільки по черзі. Звідси випливає необхідність такого подання інформації, яке відповідало б послідовності діянь оператора. Зокрема, наступні заходи сприяють скороченню часу переміщень і пошуку оператором причини збою:

- компоновка у просторі засобів інформації, що відноситься до контролю і ручного впливу з боку одного оператора;

- розподіл приладів і органів діянь у групи по управляючих контурах;

- доцільний розподіл послідовної і паралельної інформації на два відеотермінали.

Відеотермінал 1: відображення повідомлень про аварійну ситуацію, збої, переключення, а також циклічні повідомлення про фактичні значення параметрів у порушеній роботі паралельних контурів.

Відеотермінал 2: виклик оператора при необхідності ручного втручання в роботу конкретного контура регулювання.

Відображення ваги (значущості) окремих повідомлень доцільно виділяти за допомогою різних кольорів для характеристики пріоритетності втручань оператора в роботу АСУ:

- категорія I (колір червоний): повідомлення про небезпеку, попередження, інформація про стан основних параметрів процесу;

- категорія II (колір жовтий): інформація, без якої утруднені виявлення ділянки порушень, діагностика порушення і вибір ручного втручання: це, зокрема, якісна і кількісна інформація про процес, повідомлення про переключення, зміни в часі відповідних параметрів процесу;

- категорія III (колір зелений): інформація для підтримки ручного управління або діянь; без цієї інформації знижується можливість або стає неможливим ручне управління. Сюди відносяться обмеження у змінах параметрів, тренд регульованих величин та ін.

Відзначимо, що незалежно від форми подання інформації її об'єм повинен відповідати можливостям оператора за її сприйманням і обробкою. Надлишкова інформація може дати негативний ефект.

6. Ущільнення даних для оператора

При комунікації людина-машина велике значення надається обробці і ущільненню (стисненню) інформації, що мається. Це дозволяє людині-оператору володіти в будь-який момент часу такою інформацією, яка необхідна для виконання задач управління ходом процесу. Сучасна система автоматизованого управління може видавати неоглядний потік даних про процес. Для забезпечення можливості людині-оператору оволодіння цим потоком

інформації система повинна ці дані про процес із метою подання і наступного використання людиною ущільнити до рівня доцільної інформації про процес, по якій людина буде спроможна оцінити стан процесу. Нижче наведений ряд критеріїв оцінки придатності різних методів ущільнення даних у системах комунікації людина-машина [6].

Визначеність. Для того, щоб людина-оператор могла взяти на себе ті функції управління процесом, які вона може краще або доцільніше виконати в порівнянні з управляючою системою, її необхідно оснастити такою інформацією про процес, яку вона зрозуміє і зможе інтерпретувати, а з цієї інтерпретації одержати висновки про можливо необхідні втручання в хід процесу.

Оборотність процедури ущільнення повинна забезпечувати можливість за відхиленнями ущільнених даних процесу знаходити висновки про ті конкретні дані процесу, які стали причиною відхилення. Як правило, однозначна оборотність процедури не здійснена. В таких випадках оператор повинен мати в розпорядженні принаймні приблизні рішення оборотного одержання оригінальних (вихідних) даних.

Часовий фактор (робота в активному режимі). Якщо процедура ущільнення даних використовується в управлінні процесом, оператор повинен мати в розпорядженні перекопливу інформацію про процес у будь-який момент часу. Тому час, що витрачається на збір, обробку і відображення інформації, яка надходить, повинен бути суттєво нижче постійних часу, характерних для процесу або виробничого темпу. Ця вимога може бути пом'якшена, якщо підготовлені дані використовуються для не критичних за часом, наприклад, задач аналізу.

Показність. Результати процедури ущільнення по користувачу повинні подаватися у зручній формі, наприклад, графічною або символічною індикацією. Особливо ефективні статистичні пакети, які дають хороші можливості для візуалізацій великих об'ємів даних.

Міра ущільнення визначається співвідношенням об'єму вхідних величин і об'єму одержаного результату ущільнення. Про рівень міри ущільнення однак не можна робити висновок автоматично без врахування фактичних об'ємів ущільненої інформації для конкретної системи людина-процес-комунікація.

Внесок користувача. Важливим критерієм оцінки є об'єм внеску користувача у процесі створення системи. Якщо вибраний метод призначений для використання в системах комунікації людина-машина в реальному масштабі часу функціонування, потрібний внесок користувача може бути незначним, наприклад, за вибором параметрів процесу для їх ущільнення. В тих же випадках, коли метод призначений для використання в пасивному режимі (of-line) для аналізу процесу, внесок користувача повинен бути більш значним.

Одержали застосування різноманітні методи ущільнення даних, у тому числі:

1. *Експертні системи.* Серед численних можливостей застосування експертних систем представляють інтерес для ущільнення даних, перш за все, методи класифікації, які виконують упорядкування ситуацій за заданими класами подібно кластерному аналізу. Класифікація може виконуватися, наприклад, за допомогою дерев рішень таблично, за довідними правилами (евристично), на основі моделей або методом порівняння з відомими станами (порівнянням ситуації).

2. *Фуцці-методи (Fuzzy-Set-Theorie)* дозволяють ущільнення даних виконувати шляхом представлення численних вихідних змінних так званими «лінгвістичними» змінними. Такий метод, крім того, дозволяє розповсюдження класичних методів ущільнення даних на проблеми, які можуть бути чітко описані в чисельній формі.

3. *Нейронні сітки (Neuronale Netze).* Так само, як і експертні системи, нейронні сітки забезпечують різноманітні можливості для ущільнення даних завдяки їх здібності до кваліфікації («розпізнавання образів») і зниженню розмірності (наприклад, із застосуванням автоасоціативних сіток). Так само, як і фуцці-методи, нейронні сітки в комбінації з іншими методами ущільнення даних розширюють їх можливості.

4. *Ущільнення в часі* даних процесу звичайно застосовується з метою архівування або індицирування даних процесу за тривалий період часу. Ущільнення відбувається або опитуванням фактичних даних, наприклад, циклічно з інтервалами в 1,5 с або хвилинними інтервалами, або формуванням комплектів серед середніх значень, або вибором екстремальних величин фактичних даних у межах заданого часового відрізка.

5. *Кластерний аналіз*. При кластерному аналізі велика кількість результатів спостережень (наприклад, станів процесу), описаних незалежними змінними (наприклад, даними вимірювань), розподіляються на групи (кластери), наприклад, «діапазон хорошої роботи» або «діапазон з допустимими відхиленнями». Належність спостережень до груп може розглядатися як ущільнене відображення простору станів спостережень.

6. *Факторний аналіз*. При факторному аналізі досліджується кореляція між незалежними величинами під впливом невеликого числа підлеглих впливових факторів. Математично – це рівноцінно повороту і зсуву координатної системи, при якому на базі множини одержаних точок спостережень по перших n нових координатах (факторах) може бути достатньо добре описана кореляція незалежних величин.

7. *Методи, що базуються на моделях*. Цими методами можуть визначатися особливості процесу або вироблюваної продукції, які не можуть бути одержані безпосереднім вимірюванням. Такі величини, одержані на базі моделей, є часто єдиними характеристиками матеріалів, що заміняють також ряд вимірювальних параметрів.

7. Аварійні ситуації в автоматизованих технологічних об'єктах

Численними дослідженнями показано, що аварійні ситуації в автоматизованих технологічних об'єктах у значній мірі обумовлюються комбінацією технічних і людських відмов. Через це надається велике значення дослідженням надійності взаємодії комплексу «людина-машина». Особлива увага при цьому приділяється вимогам передачі даних, аналізу слабких місць і оцінці дій людини-оператора.

Оцінці людської надійності, що проводиться ймовірнісним аналізом безпеки, надається велике значення, оскільки технічна надійність об'єктів теперішнього часу достатньо висока, а людина при її втручаннях у роботу автоматизованої системи може вносити як позитивні, так і негативні ефекти. Метою аналізу дій персоналу є ідентифікація можливої наявності слабких місць в «людино-машинній системі», які можуть негативно впливати на хід процесу, а також вироблення заходів щодо усунення або обмеження цих слабких місць.

У поняття людська надійність входить здатність людини-оператора в заданій ситуації виконувати деякі завдання у визначений інтервал часу в необхідному обсязі. Оцінка ручного втручання виконується ймовірнісним аналізом безпеки як для силової, так і несилової частини об'єкта. При ручному втручання в несилуовій частині приділяється підвищена увага, оскільки пристрої безпеки, що входять до цієї частини, відключаються і часто для ліквідації аварійної ситуації потрібні зусилля людини.

Розрізняють три категорії дій персоналу в аварійній ситуації:

а) дії перед виникненням події при нормальній роботі установки, які можуть запобігти розвитку подій;

б) дії при події, що виникла, особливо якщо при цьому відключились системи забезпечення безпеки;

в) дії в результаті минулої події, такі як:

- заходи з безпеки в результаті події;
- виключення додаткової ситуації, що посилює подію;
- проведення позапланових заходів із корекції та ремонту.

8. Людино-машинне управління в АСУ ТП товстолистових прокатних станів

Елементи людино-машинного управління реалізовані в ряді впроваджених в експлуатацію АСУ ТП товстолистових прокатних станів (АСУ ТП ТЛС).

Рішення задачі автоматичного управління технологічними процесами на ТЛС прокатки базується на використанні формалізованого опису процесу (математичних моделей), адаптації цього опису за результатами вимірювання координат стану процесу, використанні оцінок стану об'єкта управління – агрегату, що автоматизується, і суміжних із ним ділянок технологічної лінії. В умовах відсутності повного аналітичного опису процесу (наприклад, опису формоутворення смуги у площині, формування механічних властивостей прокату і стану його поверхні та ін.), відсутності автоматизованих засобів для визначення значень деяких координат стану об'єкта (площинності, стану поверхні валків та ін.) і стану зовнішніх щодо ділянки, що автоматизується, ланок технологічної лінії участь людини є необхідною умовою вирішення всього комплексу завдань автоматизації. Хоча людина поступається автоматичі у швидкості і точності переробки інформації, надійності роботи (якість роботи залежить від багатьох факторів, у тому числі психологічних), він може накопичувати і надалі використовувати при управлінні неформалізований досвід, орієнтуватися і приймати рішення в непередбачених ситуаціях, контролювати свої органи почуттів і оцінювати значення і зміни координат стану процесу, засоби для об'єктивної оцінки яких відсутні в АСУ [2, 9].

Процес управління прокаткою можна умовно розділити на три основні складові: вибір стратегії управління (наприклад, закону зміни енергосилових параметрів за пропусками); вибір і реалізація управлінь, які забезпечують виконання стратегії (наприклад, розрахунок товщини і розчинів валків за пропусками і відпрацювання з заданою точністю цих розчинів); отримання інформації про стан об'єкта і суміжних із ним ланок технологічної лінії, оцінка результатів управління. При автоматизації ТЛС сформувався підхід, який передбачає використання набору «жорстких» стратегій управління, отриманих заздалегідь (не в темпі з технологічним процесом) для певних діапазонів зміни характеристик процесу. Вибір однієї із стратегій проводиться з урахуванням конкретної ситуації на об'єкті автоматизації. Як правило, такий вибір робить оператор, який має інформацію про стан об'єкта управління в цілому. На початковій стадії освоєння АСУ прокаткою на ТЛС застосовуються стратегії управління, що використовують досвід операторів і технологів стану, і зафіксовані при ручному управлінні прокаткою (тобто стратегію у даному випадку задає сам оператор). Це дозволяє вже на початковій стадії впровадження АСУ отримувати ефект від автоматизації і автоматично накопичувати статистичні дані, необхідні для впровадження «жорстких» стратегій управління, які оптимізують процес [1, 4]. Такий підхід був використаний в АСУ ТП ТЛС 3600 меткомбінату «Азовсталь» [2, 10]. Таким чином, при управлінні режимами прокатки на ТЛС використовуються принципи автоматизованого людино-машинного управління.

Розглянемо використання принципів людино-машинного управління на прикладі системи автоматизації режимів прокатки на товстолистовому стані 2250. АСУ режимом обтисень (АСУ РО) на товстолистовому стані 2250 призначена для обчислення в реальному масштабі часу оптимальних режимів обтисень для чорнової і чистової клітей з урахуванням реальних параметрів процесу прокатки і автоматичного відпрацювання з необхідною точністю обчислених за пропусками обтисень [10].

В АСУ РО передбачені три режими управління: автоматичний, при якому система здійснює розрахунок оптимальних програм обтисень і їх автоматичний відробіток шляхом управління натискними механізмами; режим порадирика оператора, при якому система здійснює розрахунок оптимальних програм обтисень і видає оператору інформацію про рекомендований розчин валків у черговому пропуску прокатки, а управління натискним механізмом проводиться оператором вручну; напівавтоматичний режим, при якому систе-

ма здійснює автоматичний відробіток розчинів валків, раніше зафіксованих при ручному управлінні оператором. До складу АСУ РО входить підсистема передачі і введення даних, яка здійснює синхронно із просуванням прокату на центральній частині стану введення даних в УВМ, а також представлення цієї інформації оператору. До складу підсистеми входять пульт введення даних, табло індикації і запам'ятовуючий пристрій, що дозволяє одночасно зберігати два комплекти вихідних даних і окремо відтворювати їх для різних ділянок технологічної лінії.

Оператор під час роботи АСУ РО здійснює ручне управління швидкісним режимом прокатки і допоміжними операціями, він контролює правильність роботи АСУ і втручається в управління при появі збоїв у роботі системи. Перехід на ручне управління здійснюється без додаткових перемикачів переведенням командоконтролера керування електроприводом натискного механізму з нульового положення.

Робота в режимі поради оператора дозволяє зробити наладку АСУ РО. У цьому випадку доцільність розрахованих уставок на розчин валків оцінюється оператором і відпрацьовується вручну. Режим поради оператора – основний для відпрацювання алгоритмів функціонування АСУ. На цій стадії при тісній взаємодії розробників системи і фахівців-технологів АСУ доводиться до стану, що дозволяє перейти до режиму автоматичного управління.

Аналогічні підходи в частині принципів людино-машинного управління були використані в АСУ ТП стана 3600 Бхілайського метзаводу (Індія), АСУ ТП прокатки на ТЛС 5000 «Іжорський завод», АСУ ТП стана 1500 метзаводу «Серп і Молот» [2, 12, 13].

Елементи людино-машинного управління реалізовані також у системах автоматизації інших технологічних ділянок ТЛС. Як приклади можна привести автоматизовану систему керування агрегатами вогневого різання (АСК АВР) ділянки обробки плит товстолистового стана 3600 [14, 15] та автоматизовану систему гідрозбивання окалини (АС ГЗО) для стана 2800 Алчевського металургійного комбінату [16]. У цих системах оператор вводить в АСУ необхідні вихідні дані, задає і коригує режими роботи, контролює роботу автоматики і хід протікання технологічного процесу.

9. Висновки

Людино-машинна взаємодія – це форма спільного використання резервів людини і автоматизованих систем, орієнтована в кінцевому підсумку на людину. Розумова діяльність людини та інформаційні процеси в автоматизованій системі доповнюють один одного за принципом компліментарності: ефективність комплексного використання резервів людини і ЕОМ – не адитивна, а інтегральна величина.

Елементи людино-машинного управління реалізовані практично у всіх впроваджених системах автоматизації на товстолистових прокатних станах. Концепція реалізації поділу функцій між людиною-оператором та ЕОМ визначається конкретними умовами об'єкта автоматизації.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Человеко-машинные системы автоматизации. К.: НПК «КИА», 2000. 296 с.
2. Ієвлев М.Г., Грабовський Г.Г. Математичні моделі і алгоритми керування в АСК ТП товстолистових прокатних станів. К.: Техніка, 2001. 248 с.
3. Kraiss K-F. Benutzergerechte Automatisierung-Grundlagen und Realisierungskonzepte. *Automatisierungstechnik*. 1998. N 10. S. 457–466.
4. Hofmann W. Anthropologische Gesichtspunkte bei der Auslegung der Warte. *BB-Mitteilungen*. 1979. N 3. S. 210–215.
5. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Рюмшин Н.А. Интегрированные АСУ в промышленности.

- К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1995. 316 с.
6. Грабовский Г.Г. ИАСУ толстолистовыми прокатными станами. К.: Техніка, 2001. 448 с.
7. Richel A. Bewertung und Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle unter Nutzung der Fuzzy Set Theorie. Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor-Ingenieur. Bochuni, 1998. 228 s.
8. Архангельський В.І., Богаєнко І.М., Грабовський Г.Г., Рюмшин М.О. Системи людино-машинної комунікації в АСУ. *Автоматизація виробничих процесів*. 1999. № 2 (9). С. 1–8.
9. Ієвлев М.Г. Автоматизоване управління режимами прокатки на товстолистових станах. *Математичні машини і системи*. 2020. № 4. С. 95–112.
10. Твардовский В.П., Ганчич Г.Г., Ієвлев Н.Г. и др. Математическое обеспечение АСУ ТП ТЛС первоочередного внедрения. *Автоматизация листовых прокатных станов*. К.: Институт автоматики, 1983. С. 42–49.
11. Архангельский В.И., Твардовский В.П., Бычков С.М., Ганчич Г.Г., Коваленко Г.А. АСУ режимом обжатый стана 2250 Коммунарского металлургического завода. *Автоматизация прокатных станов*. М.: Металлургия, 1976. С. 54–61.
12. Твардовский В.П., Евдоксин А.В., Ієвлев Н.Г. Подсистема автоматизированного формирования управлений режимами прокатки. *Автоматизация конвертерного и прокатного производства*. К.: Институт автоматики, 1987. С. 89–93.
13. Ієвлев Н.Г., Евдоксин А.В., Полещук В.В., Чунарев Б.Н. Автоматизированное управление процессом прокатки на стане 1500 металлургического завода «Серп и Молот». *Автоматизированное организационно-технологическое управление процессами прокатного производства*. К.: Институт автоматики, 1989. С. 57–60.
14. Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г., Мойсеєнко С.Є. Автоматизована система керування агрегатами вогневого різання плит. *Науково-технічна інформація*. 2012. № 2 (52). С. 42–48.
15. Ієвлев М.Г., Грабовський Г.Г. Автоматизована система керування агрегатами вогневого різання плит на товстолистовому стані. *Математичні машини і системи*. 2021. № 1. С. 86–95.
16. Ієвлев М.Г., Корбут В.Б. Автоматизована система гідрозбивання окалини для стана гарячої прокатки. *Науково-технічна інформація*. 2012. № 1 (51). С. 44–48.

Стаття надійшла до редакції 07.12.2021