



RS Global  
Journals

Scholarly Publisher  
RS Global Sp. z O.O.  
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773  
Tel: +48 226 0 227 03  
Email: editorial\_office@rsglobal.pl

<b>JOURNAL</b>	World Science
<b>p-ISSN</b>	2413-1032
<b>e-ISSN</b>	2414-6404
<b>PUBLISHER</b>	RS Global Sp. z O.O., Poland
<b>ARTICLE TITLE</b>	ПІДСИСТЕМА «ПРАЦІВНИК» У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ
<b>AUTHOR(S)</b>	Березуцький Вячеслав Володимирович, Ільїнська Ольга Ігорівна
<b>ARTICLE INFO</b>	Berezutskyi V. V., Ilinska O. I. (2020) Subsystem "Employee" in the Management System of Occupational Health and Safety at the Enterprise. World Science. 8(60). doi: 10.31435/rsglobal_ws/31102020/7213
<b>DOI</b>	<a href="https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31102020/7213">https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31102020/7213</a>
<b>RECEIVED</b>	02 August 2020
<b>ACCEPTED</b>	19 September 2020
<b>PUBLISHED</b>	24 September 2020
<b>LICENSE</b>	 This work is licensed under a <b>Creative Commons Attribution 4.0 International License</b> .

© The author(s) 2020. This publication is an open access article.

## ПІДСИСТЕМА «ПРАЦІВНИК» У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ

*Березуцький Вячеслав Володимирович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Безпека праці та навколишнього середовища», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7318-1039>*

*Ільїнська Ольга Ігорівна, старший викладач кафедри «Безпека праці та навколишнього середовища», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6617-5354>*

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31102020/7213](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31102020/7213)

### ARTICLE INFO

**Received:** 02 August 2020

**Accepted:** 19 September 2020

**Published:** 24 September 2020

### KEYWORDS

occupational safety,  
occupational safety and health  
management system,  
subsystem "employee",  
automatic control system.

### ABSTRACT

Theoretical principles of approaches to solving the problem of reducing injuries and improving working conditions are considered. It is shown that the complexity of the issue of ensuring an effective level of employee safety requires the use of multifactorial research methods. The presented results in the theoretical research proved the necessity and possibility of using the theory of systems analysis in combination with the theory of automatic control and the theory of reliability to achieve this goal. It is determined that the working conditions and tasks set by managers to employees in the 21st century are increasingly becoming formalized (determined). Workers on safety issues must follow rules that limit their activity, and this has an impact on their behavior. It is determined that the working conditions and tasks set by managers to employees in the 21st century are increasingly becoming formalized (determined). Workers on safety issues must follow rules that limit their activity, and this has an impact on their behavior. It has been proven that possible disturbances and opposition to the implementation of these rules and restrictions should be taken into account. It is necessary to register all errors and deviations from the normal condition of the employee, starting with the most minor ones. It is shown that the safety management system is based on the efficient and error-free operation of the subsystem "employee", which is probabilistic (by the nature of its origin), that is, errors can occur in the work. It is pointed out that it is necessary to take into account all the components of the dualistic management scheme of the occupational safety and health management system. It is emphasized that it is necessary to revise all instructions on labor protection taking into account the risks of non-compliance with safety requirements and taking into account their consequences. Attention is drawn to the fact that automatic control systems in automatic control systems must be implemented in the production to ensure the registration of error-free operation of workers, and provide them with assistance in case of difficult production situations.

**Citation:** Berezutskyi V. V., Ilinska O. I. (2020) Subsystem "Employee" in the Management System of Occupational Health and Safety at the Enterprise. *World Science*. 8(60). doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31102020/7213

**Copyright:** © 2020 **Berezutskyi V. V., Ilinska O. I.** This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Вступ.** Питання застосування теорії системного аналізу до вирішення проблеми зменшення травматизму та професійних захворювань на виробництві, піднімається вже не перший раз. Актуальність проблеми травматизму на виробництві для України за останній рік набуває нового значення через його зростання на тлі пандемії COVID-2019. Є відомими

наступні статистичні дані: [1] кількість нещасних випадків за 9 місяців з початку 2020 року становить 3231 (з них 296 зі смертельними наслідками) у порівнянні з аналогічним періодом 2019 року – 2602 (з них 281 зі смертельними наслідками). Також Держпраці України наводить структуру виробничого травматизму за I півріччя 2020 року. Серед причин нещасних випадків зі смертельним наслідком переважають організаційні (58,7%), що пов'язане з нехтуванням працівниками вимогами з охорони праці на підприємстві. Другі за масовою часткою причин нещасних випадків посідають психофізичні, техногенні, природні, екологічні та соціальні причини (26,4%). На третьому місці — технічні (14,9%).

Велика частка нещасних випадків, що приходить на організаційні причини залежить від таких складових, як незнання працівником інструкцій з охорони праці, посадових інструкцій або нехтування ними, порушення правил безпеки й технологічного процесу. Всі ці його дії мають ймовірнісний характер. Крім того ймовірнісний характер може мати й вплив навколишнього середовища на безпеку. Виходячи з цього раціонально використовувати в системі управління охорони праці ризик-орієнтований підхід.

Можна розглядати СУПБЗ як систему на різних рівнях: на державному, на рівні підприємства або його підрозділу [2].

СУПБЗ підприємства можна представити у вигляді рис.1. Виходячи з цієї схеми об'єктом управління Безпекою праці є підсистема «Працівник». В основному від неї залежить, чи будуть виконуватися правила безпеки, чи ні. Управління підсистемою «Працівник» зараз здійснюється в основному централізовано, тобто з гори до працівника без урахувань того, що кожен працівник є в свою чергу, системою в якій є свої завдання та умови функціонування. Ця система «Працівник», має власні органи керування та виконання, основи яких розглядаються у фізіології та психології людини.

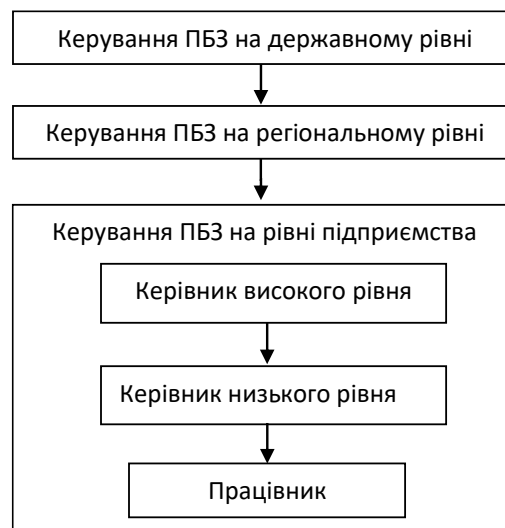


Рис. 1. Керування професійною безпекою та здоров'ям за рівнями управління

Керування підсистемою «Працівник» можна здійснювати використовуючи теорію системного аналізу, елементи теорії надійності, теорії автоматичного управління та ризик-орієнтований підхід. Не всі елементи даних теорій можуть бути застосовані до окремої людини, але можуть бути застосовані для групи працівників, як елемента системи управління (об'єкта управління). Керування за таких умов відбувається із великим набором обмежень, які мають мету зробити із людини (працівника) ідеальну «машину» для виконання певних виробничих функцій. На практиці таке є неможливим, через дуже складну будову людського організму, але наблизитись до такого ідеального керування та виконання можливо, завдяки використанню певних правил та умов.

Системний підхід в охороні праці означає комплексне дослідження всіх складових частин СУПБЗ, враховуючи і внутрішній стан системи і зовнішній вплив на систему [3]. Системний аналіз – виявлення та урахування всіх зв'язків між елементами та з зовнішнім середовищем, вивчення окремих елементів, визначення ролей цих елементів, а також виявлення впливу системи на окремі елементи [4]. Так як об'єктом керування є працівник, то важливо знати, що заставляє

його приймати рішення діяти безпечно чи ні, як впливає СУПБЗ рівня підприємства чи державного рівня на нього, які взаємозв'язки та канали інформації ідуть до працівника та від нього, який вплив мають здійснювати на працівника інші складові СУПБЗ – керівники, фахівці з охорони праці та інші, яку інформацію мають вони отримувати для якісного керування. Використання системного аналізу дозволяє упорядкувати інформацію та ефективно проектувати та управляти складними системами, до яких можна віднести СУПБЗ та підсистему «Працівник».

Одним з принципів системного підходу є принцип мети: мета має бути вимірюваною та досяжною, у випадку СУПБЗ метою є зниження кількості нещасних випадків на виробництві та випадків професійної захворюваності працівників.

Теорія надійності становиться актуальною для СУПБЗ коли ми розглядаємо підсистему «Працівник» як частину системи «Підприємство», що визначає успішне функціонування даної системи, її безаварійність, та довготривалість існування.

Для всього підприємства успішне керування безпекою є запорукою економічного успіху, але для соціуму, для якого життя та здоров'я своїх членів має першочергове значення, розробка ефективного керування професійною безпекою є одною з пріоритетних задач. На даний час ефективне управління часто ототожнюють з автоматичним управлінням, особливо тоді, коли багато складових частин в системі, багато потоків інформації і самої інформації, як зовні системи так і всередині. Тому доцільно використовувати теорію автоматичного управління і в системі СУПБЗ. Багато розмов ведеться і про те, на скільки глибоко впроваджувати автоматизацію у системи керування підприємством [5]. На даний час є розробки автоматизацій окремих секторів діяльності СУПБЗ, наприклад: по впровадженню автоматизованих систем контент аналізу по питаннях безпеки [6], по використанню накопичених знань для планування безпеки, по аналізу робочого місця з безпечності [7, 8], автоматичних систем по аналізу поведінки та наданню попереджувальних сигналів для запобігання травмування в середовищі людина-машина [9]. Створення загальної моделі автоматичного управління СУПБЗ, впровадження автоматичного керування в її елементи та об'єднання їх в одну систему автоматичного керування СУПБЗ є актуальною задачею.

Так як основним елементом СУПБЗ є людина або група людей, то система відноситься до самих складних систем – соціальних. Виходячи з того, що поведінка людей визначається високим ступенем непередбачуваності, то ці системи слід віднести до класу систем, що самоорганізуються або систем, що розвиваються, і це робить їх управління складним [10]. Так як СУПБЗ опікується професійною безпекою, і всередині системи є соціально-економічні відносини то в цілому СУПБЗ слід класифікувати як соціально-економічну систему.

Настав час більше уваги приділити підсистемі, яку утворює працівник у загальній системі керування охороною праці на виробництві. Необхідно зосередитись на комплексному керуванні цією системою, зважуючи на її значення для усієї системи управління підприємством.

**Об'єкт дослідження** – процес удосконалення заходів та засобів керування безпекою працівників на підприємстві.

**Предмет дослідження** – методи аналізу ефективності захисту працівника від негативного впливу небезпечних та шкідливих чинників у системі керування безпекою праці.

**Методи дослідження.** В роботі використовувались теоретичні дослідження, які застосовуються в Україні і в інших країнах світу, для комплексного підходу до аналізу удосконалення системи керування безпекою праці на виробництві, у тому числі методи системного аналізу у поєднанні із теорію автоматичного керування.

**Результати дослідження.**

### **1. Концептуальні підходи до опису підсистеми «працівник»**

Відповідно до теорії системного аналізу, залежно від впливу на оточення і характеру взаємодії з іншими системами, функції систем можна розташувати за рангом наступним чином [11]: пасивне існування; матеріал для інших систем; обслуговування систем більш високого порядку; протистояння іншим системам (виживання); поглинання інших систем (експансія); перетворення інших систем і середовищ (активна роль).

Пасивне існування підсистеми «Працівник» у СУПБЗ може привести до аварії або нещасного випадку. Як матеріал для інших систем підсистема «Працівник» може бути використана, зважуючи на характер виробничої діяльності. Наприклад, рятувальні роботи, контрольні перевірки тощо. Також підсистему можуть застосовувати для обслуговування

систем більш високого порядку. На сучасному виробництві де інколи виникають ситуації, коли з'являється необхідність протистояння іншим системам (виживання, конкуренція). Підсистема «Працівник» сама не поглинає інші системи (експансія) але коли до цієї підсистеми приєднуються інші (утворюється група), то ця група може «поглинати» інші підсистеми, а далі робити їх перетворення (активна роль).

Будь-яка система може розглядатися, як підсистема до іншої. Так у системі керування підприємством, система керування безпекою праці є підсистемою загальної системи керування підприємством, а у цій підсистемі можна знайти окремі підсистеми, у тому числі працівника, як підсистему, яка утворює об'єкт управління (рис.2) у системі охорони праці.

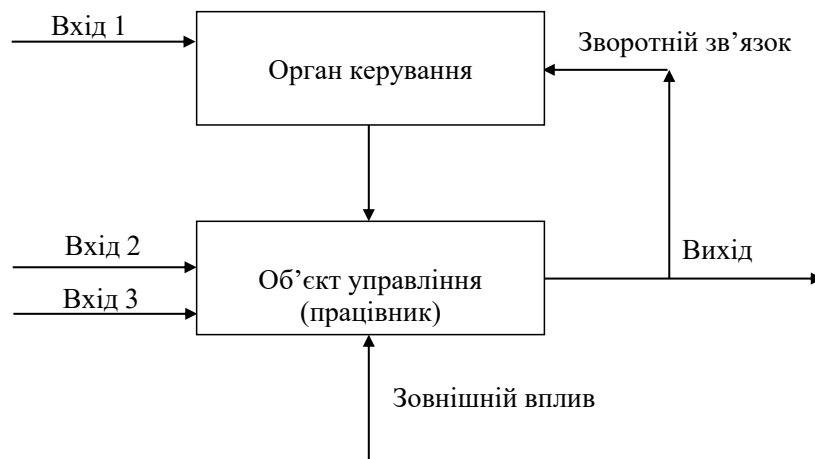


Рис. 2. Схема об'єкту керування підсистеми «Працівник», як частини системи керування охороною праці із зворотнім зв'язком

За допомогою зворотного зв'язку сигнал (інформація) з виходу системи (об'єкта управління) передається в орган управління. Тут цей сигнал, що містить інформацію про роботу, виконану об'єктом управління, а також іноді інформацію про зовнішній вплив, порівнюється з сигналом, що задає зміст і обсяг роботи (наприклад, план). У разі виникнення неузгодженості між фактичним і плановим станом роботи вживаються заходи щодо його усунення.

Зворотнім зв'язком в СУПБЗ та в підсистемі «Працівник» може виступати інформація про порушення вимог правил безпеки, кількість та види нещасних випадків, професійних захворювань, економічні втрати, які зазнало підприємство, як наслідок невиконання вимог безпеки.

Основними функціями зворотного зв'язку є:

1. Протидія тому, що робить сама система, коли вона виходить за встановлені межі (наприклад, реагування на загрозу негативного впливу на стан здоров'я);
2. Компенсація збурень і підтримання стану стійкої рівноваги системи (наприклад, неполадки в роботі устаткування, які можуть призвести до травм);
3. Синтезування зовнішніх і внутрішніх збурень, які прагнуть вивести систему зі стану стійкої рівноваги, зведення цих збурень до відхилень однієї або декількох керованих величин (наприклад, вироблення команд на появу негативного впливу інших працівників і зниження якості уваги та погіршення якості продукції, що випускається);
4. Вироблення керівних впливів на об'єкт управління (працівника) з погано формалізованими завданнями.

Порушення зворотних зв'язків в соціально-економічних системах, якою є СУПБЗ, з різних причин веде до тяжких наслідків. Окремі локальні системи втрачають здатність до еволюції і тонкому сприйняттю намічених нових тенденцій, перспективного розвитку та науково обґрунтованого прогнозування своєї діяльності на тривалий період часу, ефективному пристосуванню до постійно мінливих умов зовнішнього середовища.

Особливістю соціально-економічних систем є та обставина, що не завжди вдається чітко висловити зворотні зв'язки, які в них, як правило, довгі, проходять через цілий ряд проміжних ланок, і чіткий їх перегляд ускладнений. Самі керовані величини нерідко не піддаються ясному визначенню, і важко встановити безліч обмежень, що накладаються на



параметри керованих величин. Не завжди відомі також дійсні причини виходу керованих змінних за встановлені межі.

На виробництві більшою частиною існує детермінований (жорсткий) зв'язок, який однозначно визначає причину і наслідок, дає чітко обумовлену формулу взаємодії елементів. Визначається цей зв'язок через виробниче завдання для кожного працівника. Але у деяких видах роботи, існує ймовірний (гнучкий) зв'язок, який визначає неявну, непрямую залежність між елементами системи. Теорія ймовірності пропонує математичний апарат для дослідження цих зв'язків, званий «кореляційними залежностями».

Працівник у загальній системі керування безпекою праці на підприємстві, є базовою підсистемою, на якій будується уся надбудова керування. Людина не є механічною системою, а тому їй притаманні незвичайні форми відносин. Для приведення людини до необхідного стану який потребує успішного виконання виробничого завдання, її відбирають за професійними ознаками, навчають, обмежують правилами тощо, що призводить до становища, коли людина стає практично підсистемою «Працівник» із жорстко визначеними вимогами, але при наявності можливих ймовірних відхилень у поведінці та виконанні завдань.

Критерієм, за якими проводиться оцінка відповідності функціонування системи бажаному результату (мети) при заданих обмеженнях для працівника є його професійні компетентності. Ефективність системи, визначається ефективністю роботи кожного її елемента, у тому числі і підсистем «Працівники», і визначається співвідношенням між заданим (цільовим) показником результату функціонування системи (підсистем) і фактично реалізованим. Функціонування будь-якої довільно обраної підсистеми «Працівник» полягає в переробці вхідних (відомих) параметрів і відомих параметрів впливу навколишнього середовища в значення вихідних (невідомих) параметрів з урахуванням факторів зворотного зв'язку.

Виходячи з того, що усі рівні керування спираються на об'єкт керування, тобто на людину, з цього можна зробити висновок, що людина (працівник) є самою головною ланкою у системі керування, без якої нема сенсу у цієї системі взагалі. На рисунку 2 показана елементарна ланка керування, яка виходить на людину (працівника) та на ньому і замикається.

За допомогою зворотного зв'язку сигнал (інформація) з виходу підсистеми системи (об'єкта управління) передається в орган управління. Сигнал, що містить інформації про роботу, виконану об'єктом управління (працівником), порівнюється з сигналом, що задає зміст і обсяг роботи (наприклад, план, завдання). У разі виникнення неузгодженості між фактичним і плановим станом роботи вживаються заходи щодо його усунення. Управління системою пов'язано з поняттями прямого і зворотного зв'язку, обмеженнями.

Зворотній зв'язок призначено для виконання наступних операцій: порівняння даних на вході з результатами на виході з виявленням їх якісно-кількісних відмінностей; оцінка змісту і характеру відмінності; вироблення рішення, яке витікає з відмінності; вплив на введення [11].

Обмеження для підсистеми «Працівник», забезпечують відповідність між вихідним сигналом підсистеми та вимогою до нього, як до входу в наступну систему (підсистему), яка є «Споживачем». Споживачем у системі СУПБЗ може бути – інша людина, машина, елементи середовища тощо. Якщо задана вимога не виконується, обмеження не пропускає його через себе. Обмеження, таким чином, відіграє роль узгодження функціонування даної системи з цілями (потребами) «Споживача». У підсистемі «Працівник» можуть виникати функціональні проблемні ситуації, які пов'язані з відмінністю між необхідним (бажаним) виходом і існуючим (реальним) входом. Така проблема вирішується шляхом коригування підсистеми «Працівник», якщо це можливо, якщо ні, то заміною на нову (мається на увазі заміною одного працівника на іншого, що може виконувати вимоги по забезпеченню безпеки).

Стан системи визначається сукупністю істотних властивостей, якими система володіє в кожен момент часу. Наприклад, є система управління охороною праці підприємства, або якогось підрозділу, яка повинна забезпечити на виході 100 % показник з безпеки праці та збереження здоров'я працівників, але у реальності є звіти із травмувань та професійного захворювання працівників. Це означає що проблема є, її масштаб визначається об'ємом травм та захворювань. Тобто, виникає завдання – вирішити цю проблему. Тому необхідно вводити обмеження у процес функціонування цієї системи. Але на практиці, завдання ще складніше, бо треба робити кроки по попередженню травмувань та захворювань. Це означає, що необхідно використовувати ймовірнісні підходи та робити прогнозування майбутніх подій.

На рисунку 3 представлена схема елементарної ланки управління зі зворотним зв'язком, яка широко використовується на практиці в системі управління професійною безпекою і здоров'ям (СУПБЗ).

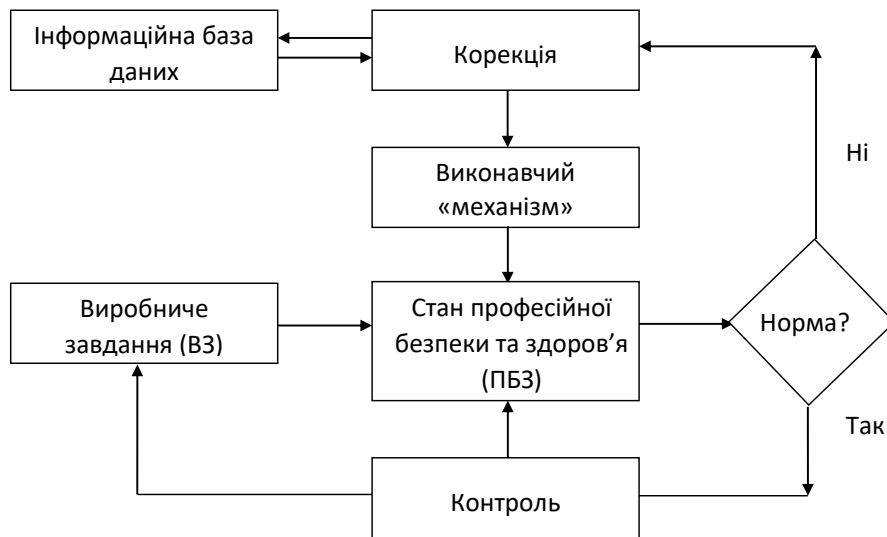


Рис. 3. Схема системи управління професійної безпеки та здоров'я (СУПБЗ)

Виробниче завдання (ВЗ) визначає необхідний стан професійної безпеки і здоров'я (ПБЗ), а отже  $ПБЗ = f(ВЗ)$ .

Схема системи управління професійної безпеки та здоров'я (СУПБЗ) працює наступним чином. Виробниче завдання видається працівникові, і його характер визначає необхідний рівень професійної безпеки і здоров'я (ПБЗ). Рівень ПБЗ будь-якого завдання повинен відповідати нормам. Якщо він відповідає нормам (гілка «Так», рис.3), то система працює в звичайному режимі, її стан контролюється. Якщо ж не відповідає (гілка «Ні», рис.3), то необхідна корекція. Вид і ступінь корекції визначається фахівцем, і далі включається виконавчий «механізм», який виконує цю корекцію. При корекції використовується інформаційна база даних, яка допомагає у виборі найбільш оптимального механізму реалізації методів і планів. Слово механізм в лапках, тому що це може бути не пристрій, а організаційний захід або що-небудь інше. Змінилося завдання у працівника – змінилися вимоги до СУПБЗ і т. д., і т. п.

У представленій схемі є три позиції, які мають істотне значення при управлінні. А саме: норма, корекція і контроль. Всі нормативні показники управління СУПБЗ умовно поділяються на дві категорії – апріорні і апостеріорні.

До апріорної категорії відносяться шкідливі і небезпечні фактори, значення яких визначені, і на них встановлені граничні рівні по допустимості. За класифікацією, що існує, їх можна поділити на такі типи: організаційні, фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Використовуючи ці показники, можна ввести індикатори рівнів небезпеки, які будуть характеризувати якісне значення ризику. Апріорні показники, можна і потрібно використовувати для попередження нещасних випадків і аварій. На теперішній час, це може бути реалізовано за допомогою втілення ризик-орієнтованого підходу. Рівень ризику є кращою апріорною інформацією, яка повинна бути врахована у системі керування безпекою на виробництві.

Апостеріорні значення визначаються за результатами, випадків, які вже мають місце і їх використовують для статистичної обробки результатів травматизму, за їх значенням розраховують показники ризиків травм, захворювань або інших подій на майбутнє та використовують у плануванні та розробці заходів з охорони праці.

Найважливішим у цій системі є наявність таких показників, які повинні збиратися в базі даних і постійно оновлюватися.

Для техногенних систем *нормативний показник технічних характеристик* є критерієм, за яким оцінюють їх можливості застосування на виробництві. Знаючи характеристики пристроїв, ними керують, використовуючи системи автоматичного управління (САУ). Це набагато спрощує складні технологічні процеси. Але виникають питання: чи можна, використовуючи САУ, управляти людьми в питаннях організації професійної безпеки? Чи не до цього прагнуть

керівники підприємств? Якщо підійти до нормативів з безпеки, як до вимог, що накладають певні рамки поведінки персоналу, то це сильно нагадує параметри управління в теорії автоматичного управління (ТАУ). Однак, таке поняття як «людський фактор», який визначає ймовірнісний характер поведінки людини і його непередбачуваність на деяких часових відрізках часу, не дозволяє використовувати математичний апарат ТАУ для вирішення проблем управління персоналом з питань безпеки. Проте, використовуючи аналогії в підходах до деяких з них, можна домогтися гарних результатів, особливо коли людина діє у певних обмеженнях у поведінці.

Позиція «Корекція» стану об'єкту уявляється досить складним елементом. Пов'язано це з тим різноманіттям методів і підходів, які вже розроблені і можуть бути використані на практиці. Тому, ця позиція віднесена до експертної оцінки та вибору найбільш оптимального підходу при вирішенні проблеми, що виникає, з безпекою праці. З цією позицією і вибором методу регулювання (корекції), тісно пов'язана позиція виконавчого пристрою. Ці дві позиції повинні розглядатися разом. Рекомендується використовувати на цій позиції міжнародні підходи та стандарти, наприклад, OHSAS 18001 (ISO 45001) та ISO31010, які допоможуть вибрати метод оцінки ризику травматизму та аварії.

Третя позиція – «Контроль». «Контроль», як зворотний зв'язок в системі управління, є важливою ланкою. Ефективність цієї позиції багато в чому визначає, працездатність всієї СУПБЗ.

Аналізуючи принцип роботи СУПБЗ, легко зрозуміти, що вона аналогічна процесу автоматичного регулювання. Автоматичне регулювання – це підтримка постійної деякої заданої величини, що характеризує процес, або зміна її по заданому закону, здійснювана за допомогою вимірювання стану об'єкта або діючих на нього збурень і впливу на орган об'єкта, що регулює [11]. Необхідно звернути увагу, що процес управління безпекою на підприємстві, практично відбувається «автоматично», тому що в кожній людині від природи закладена внутрішня система самозбереження. На практиці автоматичним управлінням вважається управління без людини, однак використовуючи цей підхід до такого складного об'єкту управління, яким є ПБЗ, можна розробити математичну модель з подальшим її застосуванням при відповідних обмеженнях, для вдосконалення СУПБЗ підприємства.

Заданою величиною є встановлена норма ПБЗ, зміна якої відбувається в залежності від умов, в яких виконується завдання і характер праці. Параметри процесу праці контролюються приладами, включається механізм, що підтримує його стан, за командою людини або пристроєм що його контролює.

Система управління СУПБЗ на підприємстві має складну будову і складається з локальних систем, об'єднаних в єдину систему. Всі елементи такої системи пов'язані інформаційною мережею. СУПБЗ має ієрархічну будову, яка визначає рівні відповідальності і виконання. Система комбінована і складається з приладів, пристроїв та механізмів, які контролюються, і за результатами контролю приймають рішення люди.

У теорії автоматичного управління (ТАУ) основним завданням є побудова математичної моделі. Математична модель включає в себе опис об'єкту управління і функціональних блоків САУ. Робиться це з метою прогнозування поведінки об'єкту управління і пошуків досягнення поставлених завдань при різних умовах.

Розглянемо об'єкт управління (ОУ) в СУПБЗ. Їм може бути метеорологічні умови робочої зони, які контролюються приладами, ці показники легко виводяться на прилади контролю та виконавчі пристрої. Це елементарна система управління по заданих параметрах температури, вологості і т.п. У цій системі вже є налагоджені технології автоматичного регулювання параметрів мікроклімату. Приклад – повне кондиціонування метеорологічних параметрів приміщення. Складніше з системою, де регулювати необхідно частотні і дискретні шуми, які виникають по стохастичним законам. В цьому випадку процес регулювання має запізнення, величина якого визначається можливостями виконавчого «механізму». Якщо цей механізм має в своїй системі людину, а, як правило, так воно і є, то тоді необхідно говорити про напівавтоматичне і ручне регулювання. Керуючим пристроєм (КП) в СУПБЗ, є людина, і це дуже ускладнює процес управління.

У практиці ПБЗ використовуються поняття оптимальні та допустимі параметри. Якщо використовувати межі цих значень, а не тільки обмежені області, то тоді можна прийнявши якусь середню величину в діапазоні оптимальних параметрів або рівень значення допустимого



рівня в інтервалі можливо реєстрованих приладами значень, визначити неузгоджену помилку (помилку регулювання).

У СУПБЗ під принципом управління розуміють формування керуючим пристроєм керуючого впливу  $u(t)$  на підставі інформації про впливи  $g(t)$  і  $z(t)$  (див. рис.4), прикладених до СУПБЗ, і реакції системи на них  $y(t)$ . Схематично ця схема представлена на рис.4. Керована (вихідна) величина  $y(t)$  порівнюється з її заданим значенням  $g(t)$  (ланка «норма», рис.3), керуючий вплив  $u(t)$  (ланка «корекція», рис.3), спрямоване на усунення виниклого відхилення ( $\varepsilon(t) = 0$ ) або зменшення його до деякого допустимого значення  $\varepsilon_{дон}$ .

Визначення відхилення у виконанні завдання, визначається за формулою (1) [12]:

$$\varepsilon(t) = g(t) - y(t) \quad (1)$$

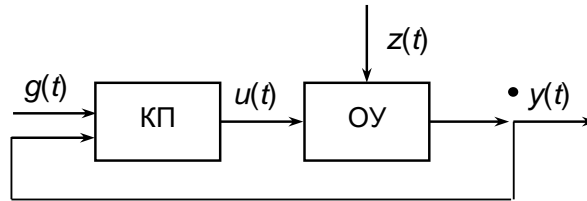


Рис. 4. Схема управління СУПБЗ з урахуванням керуючого впливу

Вихідна величина  $y(t)$  в СУПБЗ визначається заданими нормативами, які залежать від керуючого впливу  $u(t)$ , а саме характеристики умов виконання виробничого завдання, які повинні забезпечувати комфортні умови праці.

У технічних пристроях САУ реєструє сам факт появи помилки, вживає заходів для її ліквідації і цю властивість (точність) вважають головною перевагою САУ, це роблять і в СУПБЗ. До недоліків цих систем відносять схильність їх до коливань при управлінні, а також внутрішню суперечливість, пов'язану з появою керуючого впливу  $u(t)$ .

У СУПБЗ обов'язковим елементом є наявність зворотного зв'язку (33).

Завдання СУПБЗ ділять на три групи, які на відміну від САУ, мають інший порядок:

- 1) завдання ідентифікації;
- 2) завдання аналізу;
- 3) завдання синтезу.

В першу чергу в СУПБЗ визначають (ідентифікують) шкідливі і небезпечні фактори в робочій зоні, потім їх аналізують, використовуючи різні методи, а потім синтезують ідеї (способи і технології), що дозволяють зменшити до мінімальних рівнів ризику.

Сутність аналізу СУПБЗ полягає у визначенні закону зміни вихідної величини  $y(t)$  по заданому вхідному впливу  $x(t)$  і оператору системи (рис. 5).



Рис. 5. Схема розташування оператора у системі СУПБЗ

Під оператором САУ розуміють закон, відповідно до якого САУ перетворює вхідний вплив  $x(t)$  в вихідний  $y(t)$ . Таке ж завдання стоїть і перед СУПБЗ, а саме – визначити функціональні характеристики системи «людина-машина». У математичному відношенні оператор системи являє собою диференціальне рівняння або систему диференціальних рівнянь, а також передавальну функцію СУПБЗ. Оператор СУПБЗ є її математична модель. Щодо оператора в системі СУПБЗ, передавальна функція визначається виходячи з психофізіологічних особливостей підсистеми «працівник», рівня знань і засвоєного набору кваліфікаційних компетентностей з одного боку, а з іншого боку – ступенем його надійності.

Сутність ідентифікації полягає у визначенні оператора СУПБЗ по відомим вхідним  $x(t)$  і вихідним  $y(t)$  величинам. Вхідна величина  $x(t)$  є інформацією про вплив шкідливих і небезпечних факторів робочого середовища, а вихідна величина  $y(t)$  – можливі негативні наслідки цього впливу, які визначаються встановленими нормативами.

Негативними наслідками також є помилки, які припускаються людиною при виконанні завдання.

До функції надійності роботи людини в безперервній тимчасовій області, що має безперервний характер, відносяться спостереження, контроль і зміщення, під час яких ймовірність появи помилки з вини людини в інтервалі часу  $t$  (при заданому  $E_1$ ) визначається як

$$P(E_2/E_1) = \ell(t) \quad (2)$$

де  $\ell(t)$  – частота появи помилок з вини людини в момент часу  $t$  (цей показник аналогічний інтенсивності відмов  $(t)$  в класичній теорії надійності);  $E_1$  – подія, що складається в безпомилковій роботі протягом часу  $t_1$ ,  $E_2$  – подія, що складається в появі помилки людини в інтервалі часу  $[t, t + t]$  [12, 13].

Загальна вираз для обчислення ймовірності безпомилкової роботи людини має вигляд:

$$R_h(t) = \ell \circ \int_0^t \ell(t) dt \quad (3)$$

де  $R_h(t)$  – ймовірність безпомилкової роботи людини. Це рівняння виражає ймовірність безпомилкової роботи людини в інтервалі часу  $[0, t]$  і  $[t, t + t]$ .

## 2. Показники надійності роботи підсистеми «Працівник».

Стандартні підходи у теорії надійності, щодо показників надійності роботи людини, як елемента системи «людина-машина» є середній час до появи помилки з вини людини, середній час до появи першої помилки з вини людини, середній час між помилками з вини людини [14].

Середній час до появи помилки з вини людини. Цей показник аналогічний середньому наробітку на відмову в класичній теорії надійності і використовується при вирішенні задач в безперервному режимі, коли з'являються помилки, подібні не дотягуванню літака до посадкової смуги при посадці або перевищення заданого тиску в паливному баку ракети.

*Середній час до появи першої помилки з вини людини.* Цей показник аналогічний середньому наробітку до першої відмови в класичній теорії надійності і використовується в тих випадках, коли поява першої помилки з вини людини грає виключно важливу роль.

*Середній час між помилками з вини людини.* Цей показник аналогічний середньому наробітку на відмову, що використовується в класичній теорії надійності і застосовується в тих випадках, коли помилки з вини людини не є дуже серйозними (наприклад, для оцінки частоти появи дефектів деталей на виробничій лінії з вини помилок людини).

У кожному конкретному випадку повинен бути зроблений вибір одного з варіантів, який відповідає необхідній мірі надійності виходячи з можливих наслідків помилки людини. Вибір цей робиться виходячи з аналізу всіх можливих ризиків.

Помилки людини можна розподілити за трьома рівнями, і на кожному рівні можливе їх попередження. Наприклад, на рівні (1) можна запобігти помилкам людини, на рівні (2) можна уникнути небажаних наслідків помилок, що коригують неправильне функціонування системи внаслідок помилок, внесених з вини людини, на рівні (3) можна виключити повторне виникнення тих чи інших ситуацій, що призводять до помилок людини.

Види помилок, що допускаються людиною, мають таку класифікацію [12, 13]:

1. Помилки проектування: обумовлені незадовільною якістю проектування. Наприклад, керуючи пристрої та індикатори можуть бути розташовані настільки далеко один від одного, що оператор буде зазнавати труднощів при одночасному користуванні ними.

2. Операторські помилки: виникають при неправильному виконанні персоналом, що обслуговує, встановлених процедур або в тих випадках, коли правильні процедури взагалі не передбачені.

3. Помилки виготовлення, мають місце на етапі виробництва внаслідок:

- а) незадовільної якості роботи, наприклад, неправильного зварювання;
- б) неправильного вибору матеріалу;
- в) виготовлення виробу з відхиленням від конструкторської документації.

4. Помилки технічного обслуговування: виникають в процесі експлуатації і зазвичай викликані неякісним ремонтом обладнання або неправильним монтажем.

5. Внесення помилки: як правило, це помилки, для яких важко встановити причину їх виникнення, тобто визначити, чи виникли вони з вини людини або ж пов'язані з обладнанням.

6. Помилки контролю: пов'язані з помилковим прийманням як гідного елемента або пристрою, характеристики якого виходять за межі допусків, або з помилковою відбраковкою гідного пристрою або елемента з характеристиками в межах допусків.

7. Помилки звернення: виникають внаслідок незадовільного зберігання виробів або їх транспортування, з відхиленнями від рекомендацій виробника [14].

Серед основних причин помилок людини можна виділити наступні:

– незадовільна підготовка або низька кваліфікація обслуговуючого персоналу, коли оператори або фахівці з технічного обслуговування недостатньо підготовлені до виконання поставленого завдання;

– проходження персоналу, що обслуговує, незадовільним процедурам технічного обслуговування або експлуатації;

– недоліки в організації робочого місця або незадовільні умови праці;

– незадовільний стан оснащення необхідною апаратурою та інструментами;

– недостатнє стимулювання та мотивація операторів або фахівців з технічного обслуговування, що не дозволяє досягти оптимального рівня якості їх роботи.

Сутність синтезу СУПБЗ полягає у визначенні вхідної величини  $x(t)$  оператора (структури і параметрів) за бажаними змінами вихідної величини  $y(t)$ .

Людина в системі управління СУПБЗ, також відрізняються одна від одної, як елементи САУ відрізняються між собою по фізичній природі, конструкції, потужності і т.п. Однак, описувані математичними моделями (ММ) одного і того ж виду в САУ, вони є однаковими динамічними ланками (ДЛ). У кожній динамічній ланки в системі САУ може бути лише одна вхідна і одна вихідна величини (рис. 6 а). На відміну від САУ в СУПБЗ при одній вхідній величині  $x(t)$  на виході можна отримати дві і більше вихідних  $y(t)$  величин (рис. 6 б).



а

б

Рис. 6. Схема динамічних ланок

а – в системі автоматичного управління (САУ),

б – в системі управління професійною безпекою та здоров'ям (СУПБЗ)

Виходячи з вище сказаного в системі СУПБЗ необхідно використовувати інтегрований показник математичних моделей (ММ), який найбільш повно міг би визначити сутність процесів, що протікають з працівником. Необхідно відзначити, що працівник на виробництві знаходиться в системі типу «Людина-Машина», а це означає, що він обов'язково має контакт з технічним пристроєм в тому чи іншому вигляді, і його роль – керування машиною (пристроєм і / або його елементами).

Передавальною функцією (ПФ -  $W(s)$ ) ланки чи САУ називають відношення перетворення Лапласа  $Y(s)$  сигналу на виході системи  $y(t)$  до перетворення Лапласа  $X(s)$  сигналу на вході  $x(t)$  при нульових початкових умовах. Передавальна функція  $W(s)$  має вигляд, [12]:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_1s + b_0}{a_2s^2 + a_1s + a_0}. \quad (4)$$

де  $a_1, a_2, a_0, b, b_0$  – постійні коефіцієнти;  $s$  – оператор.

Згідно з визначенням (4) впливає, що

$$Y(s) = W(s)X(s), \quad (5)$$

а також

$$W(s) = \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (6)$$

де  $A(s) = a_2s^2 + a_1s + a_0$ ;  $B(s) = b_1s + b_0$  – поліноми від  $s$ .

Схеми СУПБЗ представляють собою кілька з'єднаних між собою динамічних ланок. Типовими з'єднаннями ланок (рис. 7) є:

- послідовне (рис. 7а);
- паралельне (рис. 7б);
- зустрічно – паралельне (рис. 7в).

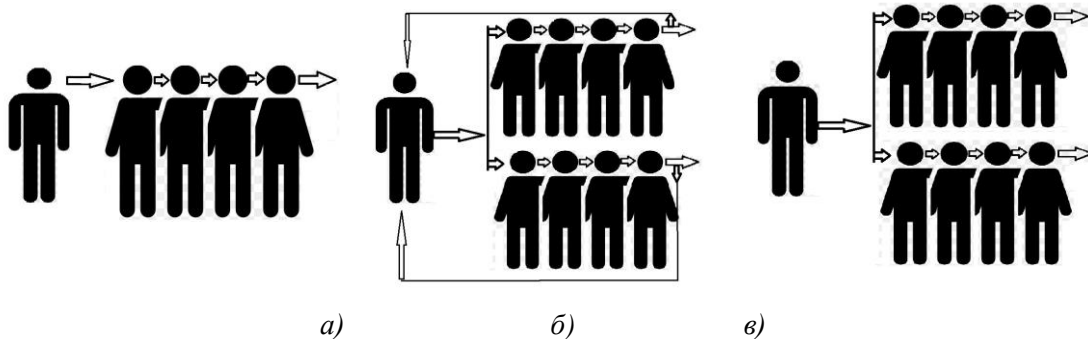


Рис. 7. Типи з'єднання динамічних ланок (ДЛ)

а – послідовне; б – паралельне; в – зустрічно-паралельне (охоплення ланки зворотним зв'язком)

При послідовному з'єднанні динамічних ланок (ДЛ) (рис. 8) вихідна величина кожної з ланок  $y_1$  і  $y_2$ , крім останньої ланки, є вхідною величиною наступної ланки.

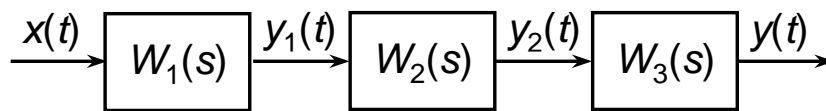


Рис. 8. Послідовне з'єднання динамічних ланок (ДЛ)

У СУПБЗ послідовне з'єднання динамічних ланок (ДЛ) є більш не ефективнішою схемою, тому що відсутній зворотній зв'язок і контроль результатів управління. Аналогічна схемі: начальник – заступник начальника (керівник відділу) – бригадир – працівник.

Еквівалентна передавальна функція  $W$  послідовно з'єднаних  $l$  ланок в ТАУ дорівнює добутку передавальних функцій (ПФ) цих ланок:

$$W = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot \dots \cdot W_l \tag{7}$$

При паралельному з'єднанні (рис. 9) на вхід всіх ланок надходить одна й та ж вхідні величина  $x(t)$ , а їх вихідні величини  $y_1$ ,  $y_2$  і  $y_3$  підсумовуються.

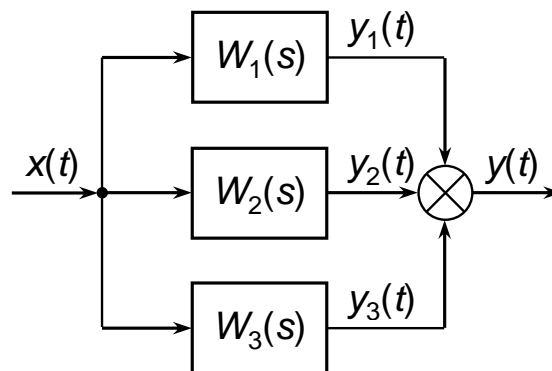


Рис. 9. Паралельне з'єднання динамічних ланок в СУПБЗ

Еквівалентна передавальна функція  $W$  паралельно з'єднаних  $l$  ланок дорівнює сумі їх передавальних функцій:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_l \tag{8}$$

Третє типове з'єднання (рис. 10), зване зустрічно-паралельним, призводить до утворення замкнутої системи і складається з двох ланок. Ланка з передавальною функцією  $W_{\Pi}(s)$  утворює прямий ланцюг (зв'язок) передачі сигналів, а ланка з передавальною функцією  $W_{Oc}(s)$  здійснює зворотній зв'язок.

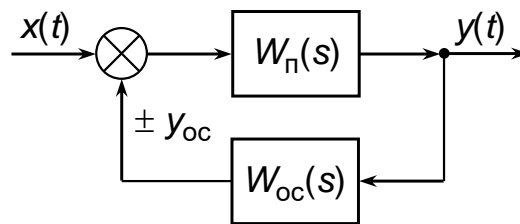


Рис. 10. Типове зустрічно-паралельне з'єднання з зворотнім зв'язком

Еквівалентна передавальна функція  $W(s)$  зустрічно-паралельного з'єднання ланок визначається за формулою замикання

$$W(s) = \frac{W_{\Pi}(s)}{1 \pm W_{\Pi}(s)W_{Oc}(s)}. \quad (9)$$

де  $W_{\Pi}(s)$  – передавальна функція ланки, що утворює прямий ланцюг (зв'язок) передачі сигналів;

$W_{Oc}(s)$  – передавальна функція ланки з зворотним зв'язком.

У виразі (9) знак «+» відповідає негативному зворотному зв'язку, а знак «-» відповідає позитивному зворотному зв'язку.

Одним з основних методів аналізу надійності роботи людини є побудова дерева ймовірностей. При використанні цього методу задається деяка умовна ймовірність успішного або помилкового виконання людиною кожної важливої операції або ймовірність появи відповідної події. Результат кожної події зображується гілками дерева ймовірностей. Повна ймовірність успішного виконання певної операції знаходиться підсумовуванням відповідних ймовірностей в кінцевій точці шляху успішних результатів на діаграмі дерева ймовірностей. Цей метод з деякими уточненнями може враховувати такі фактори, як стрес, викликаний нестачею часу, емоційне навантаження, навантаження, що викликане необхідністю дій у відповідь, результатами взаємодій і відмовами обладнання. Даний метод забезпечує хорошу наочність, а пов'язані з ним математичні обчислення прості, що в свою чергу знижує ймовірність появи обчислювальних помилок. Крім того, він дозволяє спеціалісту оцінити умовну ймовірність, яку в іншому випадку можна отримати тільки за допомогою вирішення складних ймовірнісних рівнянь.

Приклад. Нехай працівник (оператор) виконує два завдання – спочатку  $X$ , а потім –  $Y$ , при цьому він може виконувати їх як правильно, так і неправильно. Іншими словами, неправильно виконуються завдання – єдині помилки, які можуть з'явитися в даній ситуації.

Необхідно побудувати дерево можливих результатів і знайти загальну ймовірність неправильного виконання завдання. Передбачається, що завдання статистично незалежні. Для вирішення поставленого завдання, використовуємо дерево можливих результатів зображеному на рис. 11. Введемо наступні позначення:

$P_s$  – ймовірність успішного виконання завдання;

$P_f$  – ймовірність невиконання завдання;

$S$  – успішне виконання завдання;

$f$  – невиконання завдання;

$P_x$  – ймовірність успішного виконання завдання  $x$ ;

$P_y$  – ймовірність виконання завдання  $y$ ;

$P_x'$  – ймовірність невиконання завдання  $x$ ;

$P_y'$  – ймовірність невиконання завдання  $y$ .



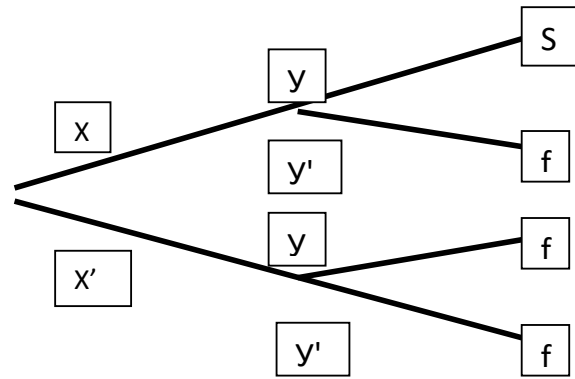


Рис. 11. Дерево можливих результатів

Згідно рис.11, ймовірність успішного виконання завдання дорівнює

$$P_s = P_x P_y.$$

Аналогічно вираз для ймовірності невиконання завдання:

$$P_f = P_x P_y + P_{x'} P_y + P_x P_{y'} = 1 - P_x P_y. \tag{10}$$

Єдиним способом успішного виконання системного завдання є успішне виконання обох завдань X і Y. Саме тому ймовірність правильного виконання системного завдання визначається як  $P_x P_y$ .

Таким чином, система СУПБЗ повинна розглядатися, як складна система управління, в якій паралельно з людиною присутні машини і механізми. Кожен елемент в системі СУПБЗ, необхідно розглядати як елементарну динамічну ланку, що складається з одного боку з внутрішньої системи типу «людина – машина» і, з іншого боку – зовнішніх зв'язків, включених в загальну схему СУПБЗ. На рис.12 представлена схема елементарної динамічної ланки дуалістичної системи, а на рис.13 загальний вигляд СУПБЗ в дуалістичному варіанті.

В системі, представленій на рис. 13, практично всі елементи мають два види, які визначаються належністю до людини (працівнику) або машині (пристрою, механізму та іншим інструментам діяльності працівника). Нормативи безпеки окремо для людей та речей, і відповідно методи корекції, виконавчих пристроїв, контролю та інформаційних баз даних.

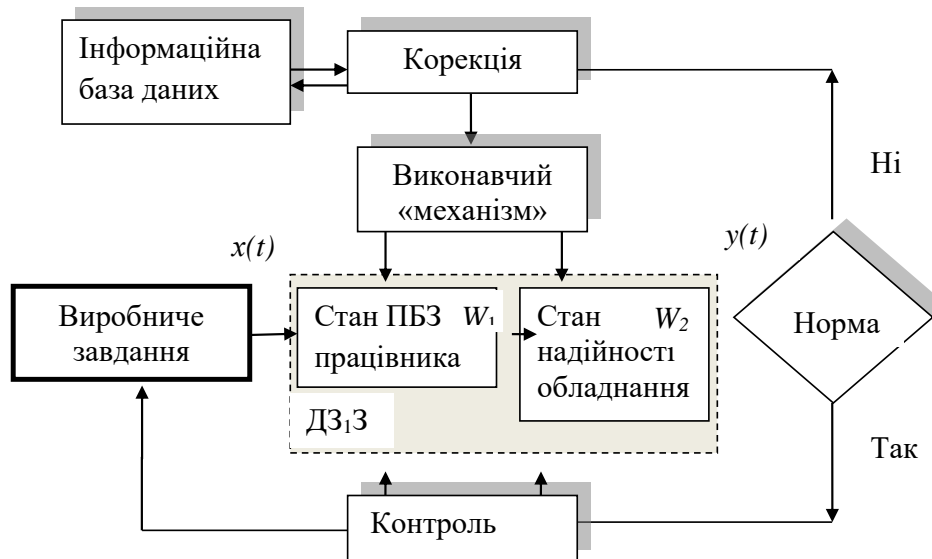


Рис. 12. Дуалістична модель СУПБЗ

В системі, представленій на рис. 13, практично всі елементи мають два види, які визначаються належністю до людини (працівнику) або машині (пристрою, механізму та іншим інструментам діяльності працівника). Нормативи безпеки окремо для людей та речей, і відповідно методи корекції, виконавчих пристроїв, контролю та інформаційних баз даних.



Рис. 13. Загальний вигляд СУПБЗ в дуалістичному варіанті

**Обговорення результатів теоретичних досліджень.** Виконані теоретичні дослідження дозволили визначитись у тому, що підсистема «Працівник» у загальній системі СУПБЗ на підприємстві є основною ланкою, якій слід приділяти більше уваги. Застосування наукових підходів, які об'єднують теорію системного аналізу, теорію автоматичного керування та теорію надійності, відповідно до вивчення ефективного керування системою забезпечення зменшення ризиків травматизму та професійного захворювання довели, що підсистема «Працівник» є дуже складною ланкою, до якої повинні бути застосовані методи керування із урахуванням ймовірнісного характеру поведінки на певному етапі робочого циклу. Ці відхилення (формули 1-3) необхідно обраховувати та використовувати у заходах з покращення роботи СУПБЗ.

Роботодавець у теперішніх умовах господарювання, повинен використовувати усі можливості щодо визначення ставлення підсистеми «Працівник» до виконання питань з безпеки праці та професійної гігієни за допомогою використання САУ, яка дозволяє віртуально визначити відповідні математичні моделі  $W_n$  та спрогнозувати подальші наслідки.

Виконаний вище аналіз показав, що для створення ефективною СУПБЗ необхідно використовувати не звичайну односторонню схему, а дуалістичну, в якій паралельно присутні «людський фактор» і «технічний фактор». За цих умов контроль СУПБЗ може запускатися в ручному або напівавтоматичному режимі, а «технічний фактор» в будь-якому режимі, за вибором людини. СУПБЗ в системі «людина-машина» працює в певних межах, встановлених роботою. «Слабкою» ланкою є люди (працівники). Тому їх придатність до безпечної роботи слід визначати шляхом професійного відбору. У цьому випадку робота таких систем повинна бути під постійним контролем, оскільки фізіологічний стан людини має тенденцію змінюватися з часом, а іноді і раптово, що може призвести до несподіваних ситуацій.

**Висновки.** 1. Розглянуто теоретичні засади щодо підходів у вирішенні проблеми зменшення травматизму та покращення умов праці. Показано, що складність питання щодо забезпечення ефективного рівня безпеки працівників, вимагає застосування багатofакторних методів дослідження. Наведені результати у теоретичному дослідженні довели необхідність та можливість використання теорії системного аналізу у поєднанні із теорією автоматичного керування та теорії надійності для досягнення цієї мети.

2. Визначено, що виробничі умови праці та завдання, які висувуються керівниками до працівників, у 21 сторіччі, все більше набувають формалізованого (детермінованого) вигляду. Працівники на виробництві щодо питань безпечного поведіння, повинні дотримуватись правил, які обмежують їх активність, а це накладає відбиток на їх поведінку. Виходячи з аналізу, треба враховувати у такому випадку збурення та протидію щодо виконання цих правил та обмежень. Необхідно враховувати усі помилки та відхилення від нормального стану працівника починаючи із самих незначних.

3. Визначено, що система керування безпекою базується на ефективній та безпомилковій роботі підсистеми «Працівник», яка носить ймовірнісний характер (за природою свого походження), тобто помилки можуть мати місце у роботі. Це призводить до необхідності врахування усіх складових дуалістичної схеми керування СУПБЗ. Необхідно переглянути усі інструкції з охорони праці із урахуванням ризиків не виконання вимог безпеки та з урахуванням їх наслідків.

4. Системи автоматичного контролю у системах автоматичного керування, повинні бути втілені на виробництві для забезпечення реєстрації безпомилкової роботи працівників, та надання їм допомоги у разі складних виробничих ситуацій.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Derzhavna sluzhba Ukrainy z pytan' pratsi. (2020, October, 14). *Stan vyrobnychoho travmatyzmu [The state of occupational injuries]*. Retrieved from URL <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/>
2. Berezuts'kyu, V. V., Vas'kovets', L. A. and So (2018). *Osnovy profesiyanoi bezpeky ta zdorov'ya lyudyny [Fundamentals of occupational safety and human health]*. Kharkiv: NTU «KhPI».
3. Khalil', V. V. (2016). Keruvannya okhoronoju pratsi na pidpryyemstvi iz zastosuvanniam metodolohiyi IDEF0 [Occupational safety management at the enterprise using the IDEF0 methodology.]. *Systemy obrobky informatsiyi*, (9), 203-27.
4. Chernyshov, V. N., & Chernyshov, A. V. (2008). *Teoriya sistem i sistemnyj analiz [Systems theory and systems analysis]*. Tambov: TGTU.
5. Haight, J. M. (2007). Automated Control Systems Do They Reduce Human Error and Incidents? *Professional Safety*, 52(05).
6. Levitt, R. E., & Samelson, N. M. (1993). *Construction safety management*. John Wiley & Sons.
7. Zhang, S., Boukamp, F., & Teizer, J. (2015). Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). *Automation in Construction*, 52, 29-41.
8. Mikulik, J., & Zajdel, M. (2009). Automatic risk control based on FSA methodology adaptation for safety assessment in intelligent buildings. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 19(2), 317-326.
9. Wang, J., & Razavi, S. (2019). Integrated and automated Systems for Safe Construction Sites. *Professional Safety*, 64(02), 41-45.
10. Cherkasskaya, G. V. (2009). Sotsial'no-ekonomicheskie sistemy: sushchnost' i problemy issledovaniy [Socio-economic systems: essence and problems of research.]. *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta im. AS Pushkina*, 3 (Ekonomika).
11. Popovych, M. H., Koval'chuk. (2012). *Teoriya avtomatychnoho keruvannya [Theory of automatic control]* (2nd ed.). Kyiv: Lybid'.
12. Berezuts'kyu, V.V. (1999) *Teoretychni osnovy bezpeky zhyttyedyal'nosti [Theoretical foundations of life safety]*. Kharkiv: KhHPU.
13. Nesterov, A.V. & Nesterov, S.V. (2006) *Teoriya avtomatychnoho upravlinnya [Theory of automatic control]*, *Zbirnyk Dopomoha*. Krasnodar: HOUVPO «KubHTU».
14. Vasilevs'kyu, O. M., & Ihnatenko, O. H. (2013). Normuvannya pokaznykiv nadiynosti tekhnichnykh zasobiv [Standardization of indicators of reliability of technical means]. Vinnytsya: VNTU.