

УДК 001.53 + 681.5.017

DOI: <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-1-28-39>**В.Я. Воропаєва, А.М. Лабузова, Д.О. Жуковська, А.О. Воропаєва****РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО КРИТИЧНОГО СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПІДЗЕМНИХ ПРАЦІВНИКІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Актуальність. На сьогоднішній день відсутність оперативного контролю за здоров'ям та місцезнаходженням гірників унеможливує прийняття відповідних управлінських рішень у разі критичних ситуацій. Запропонований алгоритм дозволить у режимі реального часу відстежувати розташування гірників та надавати індивідуальну інформацію про показники їх фізичного стану, такі як температура тіла, пульс та тиск. Це надає можливість оперативно реагувати на потенційні небезпечні ситуації та здійснювати відповідні заходи.

Мета. Підвищення ефективності управлінських рішень щодо безпеки підземних робітників вугільних шахт шляхом розробки алгоритму прийняття рішень про критичний стан здоров'я шахтаря.

Результати. В роботі вирішено комплексну задачу розробки та моделювання алгоритму прийняття рішень про стан здоров'я та індивідуальні показники життєдіяльності гірників у режимі реального часу: обґрунтовано перелік показників для моніторингу та виконано ранжування їх рівнів; обрано технічні засоби моніторингу; розроблено правила нечіткої логіки та алгоритм прийняття рішення про критичність стану здоров'я підземного робітника; виконано моделювання алгоритму.

Наукова новизна. Новизна роботи полягає у розробці алгоритму, що поєднує у собі моніторинг місцезнаходження та індивідуальних показників життєдіяльності шахтарів та прийняття рішень про їх фізичний стан.

Практична значимість. Запропоновані в роботі підходи можуть бути впроваджені в існуючі системи оперативно-диспетчерського управління вугільних підприємств та дозволяють відслідковувати виникнення критичних станів здоров'я робітників.

Ключові слова. Вугільна шахта, прийняття рішень, автоматизоване керування, моніторинг, показники життєдіяльності, шахтар, диспетчер, передача даних.

Вступ. Питання безпеки підземних робітників вугільних шахт є одним з основних при організації діяльності вуглевидобувних підприємств [1]. Робота гірників відноситься до вкрай небезпечних професій, адже підземний працівник кожен день стикається з потенційними ризиками для життя та здоров'я. Згідно з офіційними даними Фонду соціального страхування України [2], у 2022 році зареєстровано 4 877 (з них 437 - смертельно) потерпілих від нещасних випадків/гострих професійних захворювань на виробництві, на яких складено акти за формою Н-1/П. При чому значна кількість страхових нещасних випадків, по яких складено акти за формою Н-1/П, пов'язані з виробництвом, сталась на підприємстві ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (132 страхові нещасні випадки). Добувна промисловість і розроблення кар'єрів відносяться до основних травмонебезпечних галузей економіки – кількість травмованих складає 12,1% від загальної кількості травмованих по Україні, а вугільні шахти залишаються підприємствами з найбільшим рівнем травматизму.

«Створення системи заходів щодо безпечної діяльності» є однією з основних вимог до проведення гірничих робіт згідно ст. 18 Гірничого закону України [3]. Тому сучасні вугільні підприємства впроваджують передові технології з використанням автоматизації та ІТ на усіх етапах виробництва, приділяючи значну увагу питанням оперативно-диспетчерського управління [4]. Зокрема, широко впроваджуються в Україні та світі автоматизовані підсистеми моніторингу та контролю технологічних показників видобувних забоїв вугільних шахт, які дозволяють точно визначити місцеположення працівника в тривимірному просторі, що є важливою складовою для безпеки та управління ризиками у випадку надзвичайних ситуацій або швидкого реагування на

зміни у середовищі [5]. Проте проблема моніторингу та контролю в реальному часі за показниками життєдіяльності гірників залишається невирішеною. На сьогоднішній день основним засобом контролю за станом здоров'я гірників є проходження щорічного медичного огляду та перевірка окремих показників перед спуском у шахту [6]. Однак цей метод не забезпечує оперативного моніторингу та контролю і не надає достатньо повної інформації про стан здоров'я підземного робітника, що досить важливо як при штатному режимі роботи вугільного підприємства, так і під час аварійних ситуацій. Крім того, місцезнаходження шахтарів не завжди визначається в режимі реального часу та з потрібною точністю. Отже, відсутність оперативного контролю за здоров'ям та місцезнаходженням гірників унеможливує прийняття відповідних управлінських рішень у разі критичних ситуацій.

Таким чином, розробка та моделювання алгоритму прийняття рішень щодо критичного стану здоров'я підземних працівників вугільних шахт сприятиме зменшенню наслідків аварійних ситуацій та покращенню безпеки праці в шахті.

Постановка задачі дослідження. У сучасних шахтах, де працюють тисячі гірників, важливо мати змогу оперативно відслідковувати місцезнаходження та показники життєдіяльності кожного окремого робітника. Моніторинг в реальному часі таких параметрів, як температура тіла, пульс та тиск, може свідчити про стан здоров'я гірника і допомогти виявити і відповідно відреагувати на потенційно небезпечні ситуації, як при штатному режимі роботи вугільного підприємства, так і під час аварій.

Метою дослідження є підвищення ефективності управлінських рішень щодо безпеки підземних робітників вугільних шахт шляхом розробки алгоритму прийняття рішень про критичний стан здоров'я шахтаря.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вибрати та обґрунтувати перелік показників для моніторингу;
- визначитися з нормальними, допустимими та критичними рівнями показників;
- запропонувати технічні засоби моніторингу;
- розробити правила нечіткої логіки та алгоритм прийняття рішення про критичність стану здоров'я;
- виконати моделювання алгоритму.

Показники стану здоров'я підземного робітника. До об'єктивних показників фізичного стану людини прийнято відносити [7]: температуру тіла (ТТ), пульс або частоту серцевих скорочень (ЧСС), артеріальний тиск систолічний (АТС) та діастолічний (АТД), частоту дихання, життєву ємність легенів та ін. Для подальших досліджень вибрані показники, які доступні для автономного моніторингу в режимі реального часу за допомогою індивідуального браслету, а саме: ТТ, ЧСС, САТ і ДАТ. Всі ці показники контролюються в ході регулярних профілактичних медичних оглядів шахтарів, а також майже всі перевіряються перед спуском у виробку.

Медичними дослідженнями та рекомендаціями всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) визначені також нормальні значення цих показників та їх коливання, залежно від статі, віку, фізичної активності [8].

Так, ЧСС дорослого нетренованого чоловіка в спокійному стані коливається в межах 50 - 90 уд/хв. залежно від віку, у жінок ЧСС на 7 - 10 уд/хв. більша, ніж у чоловіків того ж віку. ЧСС при фізичних навантаженнях збільшується, допустимі значення також залежать від віку. Аналіз відповідних джерел дозволив сформулювати нормальні – у стані спокою (ЧСС_н), допустимі – при фізичних навантаженнях на робочому місці

(ЧСС_д) та критичні – такі, що вимагають реагування (ЧСС_{кр}) рівні пульса шахтарів різного віку (табл. 1).

Таблиця 1 – Нормальні, допустимі та критичні рівні ЧСС шахтарів

Вік, років	ЧСС _н , уд/хв.	ЧСС _д , уд/хв.	ЧСС _{кр} , уд/хв.
До 30	50-90	90-162	<50 або > 163
30 – 39	60-90	90-155	<60 або >156
40 – 49	60-80	80-150	<60 або >151
50 – 59	65-85	85-140	<60 або >141

Показники артеріального тиску також змінюються протягом життя. Відповідно до стандартів ВООЗ нормальними показниками АТ вважають: 139/89 мм рт.ст. — нормальний високий, 120/80 мм рт.ст. — оптимальний. Проте, є рекомендації до розрахунку нормативних величини АТ дорослої людини (20-80 років):

$$АТС=0,4x \text{ вік(років)}+109 \text{ мм рт. ст.}$$

$$АТД=0,3x \text{ вік(років)}+67 \text{ мм рт. ст.}$$

Норма знаходиться в межах ± 15 мм рт. ст. для АТС і ± 10 мм рт. ст. для АТД.

Такий підхід дає змогу розрахувати відповідні нормальні, допустимі та критичні значення показників АТС (табл.2) та АТД (табл.3).

Таблиця 2 – Нормальні, допустимі та критичні рівні АТС шахтарів

Вік, років	АТС _н , мм рт.ст.	АТС _д , мм рт.ст.	АТС _{кр} , мм рт.ст.
До 30	115-120	100-135	<100 або > 135
30 – 39	120-123	105-138	<105 або > 138
40 – 49	123-128	108-143	<108 або > 143
50 – 59	130-136	115-151	<115 або > 151

Таблиця 3 – Нормальні, допустимі та критичні рівні АТД шахтарів

Вік, років	АТД _н , мм рт.ст.	АТД _д , мм рт.ст.	АТД _{кр} , мм рт.ст.
До 30	72-76	62-86	<62 або > 86
30 – 39	75-80	65-90	<65 або > 90
40 – 49	80-83	70-93	<70 або > 93
50 – 59	80-86	74-96	<74 або > 96

Важливо зазначити, що рівень виміру показників температури не залежить від віку гірника. За загальноприйнятою класифікацією, нормальною температурою тіла людини вважається діапазон від 36°C до 37,2°C. Цей діапазон є стандартом для оцінки температурного режиму людського організму. В межах цього діапазону температура вважається фізіологічною і вказує на належне функціонування організму. Враховуючи, що температура тіла може змінюватись під впливом різних факторів, зокрема оточуючого середовища, то слід враховувати індивідуальні особливості людини. Залежно від цих факторів, температура тіла може варіювати на величину від ± 3 °C. Наявність діапазону варіації в температурних показниках дозволяє враховувати індивідуальні особливості організму та оточуючого середовища при оцінці температурного стану людини. При вимірюванні температури тіла важливо враховувати цей діапазон і порівнювати отримані результати зі стандартними нормами для оцінки стану здоров'я людини.

Граничні межі показників температури, пульсу, систолічного та діастолічного тиску (рис.1), були визначені для трьох зон: зелена, жовта та червона. Моніторинг показників здійснюється постійно, передача даних показників життєдіяльності відбувається наступним чином:

- Зелена зона вказує на показники, що знаходяться в межах допустимого стану для безпечної роботи. У цій зоні передача даних здійснюється кожні 30 хвилин.
- Жовта зона вказує на показники в діапазоні від нормального до допустимого стану, що може свідчити про потенціальну загрозу. У такому випадку, дані передаються кожні 15 хвилин.
- Червона зона сигналізує про критичний стан певного показника. У цій зоні передача відбувається через кожні 5 хвилин. Це дозволяє забезпечити оперативну реакцію на критичні зміни та вжити невідкладних заходів.

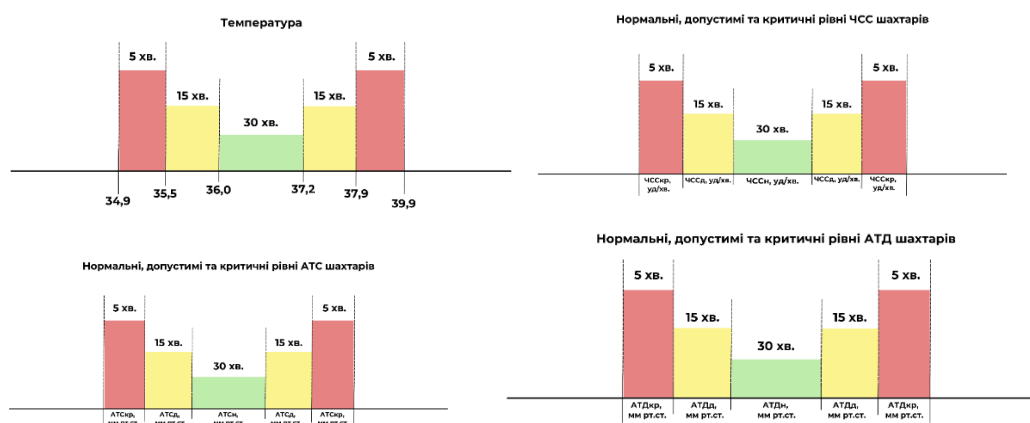


Рисунок 1 – Граничні межі показників

Для забезпечення описаної процедури необхідно запропонувати відповідні технічні засоби реалізації моніторингу, індикації та передачі даних про індивідуальні показники життєдіяльності.

Технічні засоби моніторингу показників. Необхідність постійного моніторингу об'єктивних показників фізичного стану працівників у шахті потребує розробки та впровадження відповідних технічних засобів, які б дозволяли фіксувати такі показники в автономному режимі, передавати інформацію за підтримуваними телекомунікаційними протоколами на поверхню та сигналізувати шахтарю про небезпечний стан його здоров'я. Одним із таких інноваційних рішень є використання браслету з вбудованими датчиками, що дозволяють вимірювати зазначені показники відповідно до вимог охорони праці у гірничій галузі. Браслет пропонується оснастити датчиками пульсу, тиску та температури тіла, а також світлодіодним індикатором, який буде використовуватися для візуального відображення стану шахтаря. Запропонована модель браслета включатиме два кольори індикатору - жовтий та червоний, які будуть активуватися у випадку перевищення заданих індивідуальних параметрів гірника. При допустимих значеннях всіх показників індикатор не буде відображати жодного кольору; коли один з показників перевищує норму, але лишається в межах допустимого, індикатор загоряється постійним жовтим кольором. Це слугуватиме сигналом для шахтаря про потенційну проблему. У разі переходу двох або більше показників у жовту зону, індикатор блиматиме жовтим, що свідчить про більш серйозну ситуацію та необхідність зміни умов праці (короткий відпочинок, тощо). Коли один з показників виходить за межі критичного рівня, індикатор загоряється постійним червоним кольором. Найвищий

рівень тривоги буде відображено при критичному стані двох або більше показників. Тоді індикатор блиматиме червоним, що є ознакою критичного стану шахтаря. Така система світлодіодного індикатора на браслеті надасть інформацію самому шахтарю про його стан та паралельно відобразиться на пульті диспетчера. Шахтар матиме можливість в реальному часі контролювати показники свого здоров'я та своєчасно реагувати на будь-які зміни.

Завдяки точному позиціонуванню, диспетчер отримує змогу відслідковувати місцезнаходження гірників у реальному часі. Ця інформація відображається на моніторі у вигляді тривимірної карти шахти (рис. 5). Завдяки запропонованому алгоритму на карті додатково відображатимуться різнокольорові позначки, що вказують на стан здоров'я кожного гірника. За допомогою цих позначок, диспетчер може спостерігати за кожним гірником окремо на карті. Різні кольори вказують на те, які індивідуальні показники життєдіяльності гірника перевищують норму або потребують особливої уваги. Такий сигнал дозволяє диспетчеру вчасно вжити необхідні заходи для запобігання ускладнень.

При виявленні відхилення як мінімум двох показників життєдіяльності від норми та перетину жовтої зони (що вказує на потенційну небезпеку), диспетчер проводить аналіз ситуації. Для підтвердження вимірювань він чекає та аналізує повторний замір. Якщо показники залишаються відхилені від норми після повторного заміру, диспетчер інформує підземний медичний пункт та начальника зміни, які відповідають за надання медичної допомоги та безпеку гірника. Ця інформація передається з метою організації негайного реагування та надання допомоги. Працівники підземного медичного пункту та начальник зміни, відповідно до протоколів, здійснюють додаткову оцінку стану шахтаря та вживають необхідних заходів для надання допомоги.

При виникненні аварійної ситуації така інформація дозволяє оптимально скоригувати рятувальні операції та надати першочергову допомогу ти, хто найбільш її потребує.

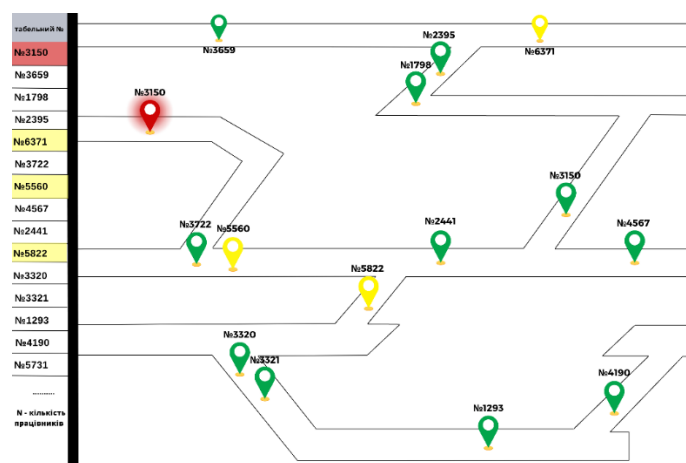


Рисунок 5 – Макет монітору пульта диспетчера

Застосування нечіткої логіки: Прийняття рішень при класифікації стану кожного робітника у здійснюється в умовах стохастичної природи зовнішніх впливів, відсутності адекватної математичної моделі функціонування, нечіткістю, людським фактором та ін. Невизначеність системи призводить до зростання ризиків від прийняття неефективних рішень. В такій ситуації доцільно застосовувати методи на основі правил нечіткої логіки, в основі якої лежить нечітка база знань – сукупність нечітких правил “Якщо – то”, що

визначають взаємозв'язок між входами і виходами досліджуваного об'єкта. В роботі пропонується використання правил нечіткої бази знань Мамдані [9], які складені з урахуванням ієрархії пріоритетів вхідних змінних, встановленої МАО Сааті (метод аналізу ієрархій Сааті) [9] за узгодженою матрицею парних порівнянь. Виходячи з особливостей об'єкта та показників, складені правила бази знань для кожного показника життєдіяльності робітників. Нижче наведено правила для визначення показників тиску:

1. If (ATC is red) or (АТД is red) or (АТС-АТД is red) then (mmHg is red).
2. If (ATC is green) or (АТД is green) or (АТС-АТД is yellow) then (mmHg is yellow).
3. If (ATC is green) and (АТД is green) and (АТС-АТД is green) then (mmHg is green).
4. If (ATC is yellow) or (АТД is yellow) or (АТС-АТД is yellow) then (mmHg is yellow).
5. If (ATC is red) or (АТД is red) or (АТС-АТД is yellow) then (mmHg is red).

Бажано, щоб база знань була компактною, тобто містила близьку до мінімальної кількість правил, необхідних для адекватного моделювання досліджуваної залежності. При великій кількості вхідних змінних компактність бази знань забезпечує ієрархічне представлення правил.

Моделювання алгоритму моніторингу показників життєдіяльності. Для отримання точних даних про індивідуальні показники життєдіяльності кожного робітника в роботі застосоване моделювання алгоритму по трьох показниках: температура тіла, пульс та тиск (систолічний та діастолічний) за допомогою моделювання в середовищі MATLAB з використанням методів логічних операцій.

Структуру моделі нечіткої логіки для кожного з параметрів, що беруть участь у визначенні стану робітника в режимі реального часу представлено на рисунку 2 (приклад для визначення тиску).

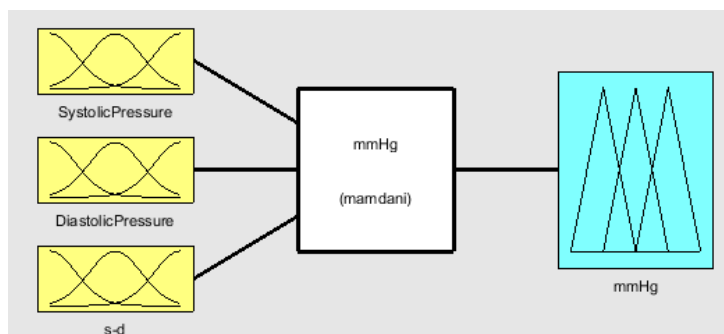


Рисунок 2 – Структура моделі нечіткої логіки, що відображає тиск робітника

Структура моделі, що наведена на рис. 2, відповідає структурі нечіткого логічного висновку. У блоках SystolicPressure, DiastolicPressure, s-d (різниця між систолічним та діастолічним значенням тиску) відбуваються процеси фазифікації, тобто перетворення чітких значень змінних входу у нечітку форму шляхом визначення ступеня належності значення вхідної величини її термам. Результат розрахунку блоку mmHg підлягає дефазифікації. Аналогічно створено моделі для показників температури тіла та пульсу.

Терми моделі нечіткої логіки представлено на рисунку 3.

Початковий багатовимірний масив – це елементи для навчання моделі визначення стану робітника в режимі реального часу, що залежить від його показників життєдіяльності, представлено на рисунку 5.

На рис. 5 по осі абсцис розташовані номери впорядкованих елементів багатовимірного масиву, яких містить у собі значення параметрів моделі:

- T – температура;

- SystolicPressure – систолічний тиск (millimeters of mercury – міліметри ртутного стовпчика);
- DiastolicPressure – діастолічний тиск (millimeters of mercury – міліметри ртутного стовпчика);
- Pulse – пульс (beats per minute – удари на хвилину);
- s-d – різниця між значенням систолічного тиску та діастолічного (millimeters of mercury – міліметри ртутного стовпчика).

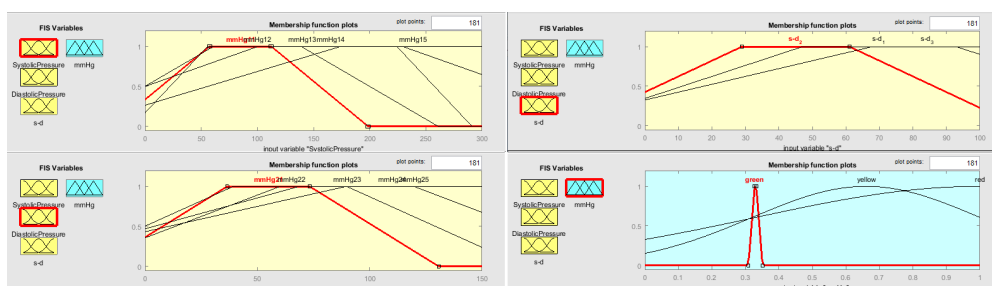


Рисунок 3– Графічне подання термів моделі, що відображає тиск робітника

На рисунку 4 представлена загальна структура підсумкової моделі визначення стану підземних робітників в режимі реального часу.

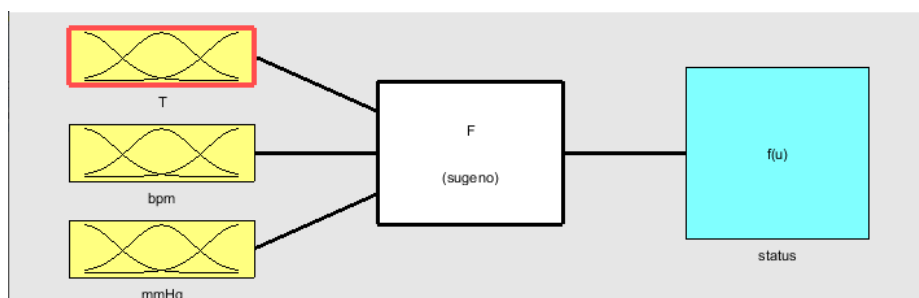


Рисунок 4 – Структура підсумкової моделі визначення стану підземного робітника

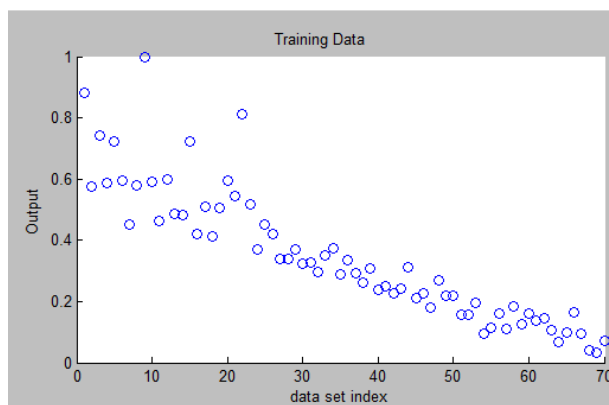


Рисунок 5 – Початкові дані

Значення вихідної змінної F віднормовано і знаходяться в межах від 0 до 1, де кожному коефіцієнту відповідає певний колір: зелений колір – нормальний стан робітника – значення F [0;0,2), жовтий колір – відхилення від нормального стану

робітника – значення $F(0,2;0,6)$, червоний колір – ознаки критичного стану робітника – значення $F(0,6;1]$.

Навчання нечіткої моделі проведено за методом субтрактивної кластеризації [10]. Даний метод використовується в тому випадку, коли заздалегідь неможливо визначити число кластерів. Основу алгоритму становлять ідеї гірського методу кластерного аналізу, який був запропонований Рональдом Ягером (Ronald Yager) і Дімітаром Фільов (Dimitar Filev). Особливістю методу є відсутність необхідності завдання кількості кластерів до початку роботи алгоритму [11]. На першому кроці гірської кластеризації визначають точки, які можуть бути центрами кластерів. На другому кроці для кожної такої точки розраховується значення потенціалу, що показує можливість формування кластера в її околиці. Чим щільніше розташовані об'єкти в околиці потенційного центру кластера, тим вище значення його потенціалу. Після цього ітераційно вибираються центри кластерів серед точок з максимальними потенціалами.

Графік помилок навчання представлений на рис. 6.

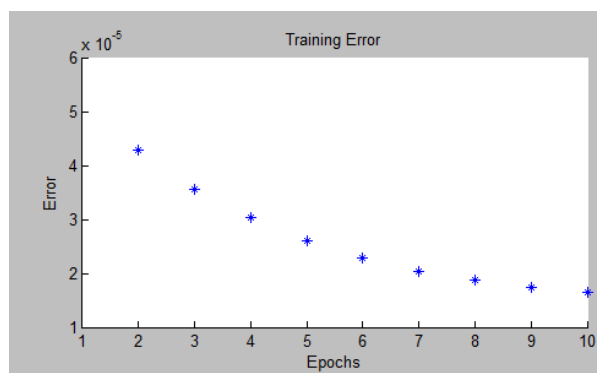


Рисунок 6 – Динаміка помилки в процесі навчання моделі F

Дані, що представлено на рис. 6, свідчать про те, що у процесі навчання помилка моделі було знижено з 0,00006 до 0,00002. Отже, можна зробити висновок, що на початку мали 6 хибних результатів на 100000 значень, а після навчання цей показник знизився до 2 хибних результатів на 100000 значень.

З використанням статистичних даних багатовимірному масиву порогові значення автоматично коригуються з метою мінімізувати помилку моделі. По суті цей процес являє собою підгонку моделі, яка реалізується алгоритмами, що використовуються, до наявних навчальних даних. Помилка для конкретної конфігурації моделі визначається шляхом ітераційного прогону через модель всіх наявних спостережень і порівнянню вихідних значень, що розраховано за допомогою моделі з бажаними (цільовими) значеннями. Всі такі різниці підсумовуються в так звану функцію помилок, значення якої і є помилка моделі.

Перевірка працездатності синтезованої моделі нечіткої логіки (модель F) за вихідними даними представлено на рис. 7.

Результати тестування моделі F після її навчання, що представлено на рис. 11 свідчать, що отримані за допомогою моделі розрахункові значення результуючого показника співпадають з його фактичними значеннями, тобто початкові значення відповідають отриманим значенням після навчання.

На рис. 8 наведена внутрішня логіка моделі F верхнього рівня, де відповідними кольорами показано зони виходу показників за межі норми, критичні зони та зона нормального стану.



Рисунок 7 – Результати тестування моделі F після її навчання

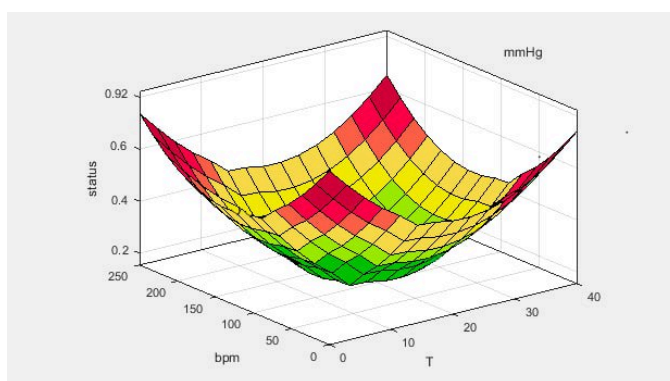


Рисунок 8 – Графічне подання поверхонь, що відображають залежність змінних

На рис. 8 наведено схему внутрішньої логіки моделі. Графік поверхні, що наведено на рисунку, вказує на наявність нелінійного зв'язку між змінними входу та змінною виходу у моделі.

Розроблена комплексна система моделей визначення стану робітника отримала реалізацію в Simulink, який є одним з обчислювальних модулів Matlab. Комплекс моделей складається з:

1. Модель T - модель нечіткої логіки визначення температури у загальній структурі комплексу.

2. Модель bpm - модель нечіткої логіки визначення пульсу у загальній структурі комплексу.

3. Модель mmHg - модель нечіткої логіки визначення тиску у загальній структурі комплексу. Варто зазначити, що окремим входом тут є різниця значень між систолічним та діастолічним значенням тиску для більш детального аналізу стану окремого робітника

4. Модель F – модель нечіткої логіки визначення поточного стану кожного робітника в режимі реального часу. Модель F використовує результати розрахунків моделей T, bpm та mmHg.

На рис. 9 представлена реалізація комплексу моделей в середовищі Simulink на прикладі розрахунку показника F за даними статистичних показників життєдіяльності, коли стан шахтаря у межах норми за всіма показниками – температура, пульс, тиск.

На рис. 9 значення показника $F = 0.1998$ вказує, що дана комбінація значень вхідних параметрів (температура, пульс, тиск) дозволяє зробити висновок, що показник стану робітника знаходяться в нормі (значення дуже близьке до 0,2).

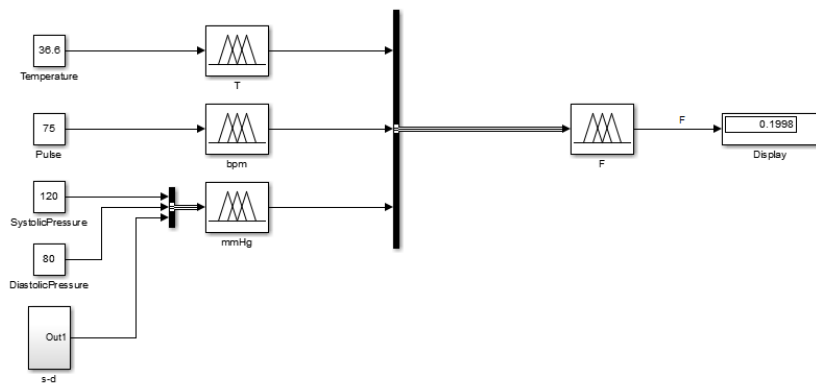


Рисунок 9 – Реалізація комплексу моделей в Simulink при нормальних показниках життєдіяльності

Розрахунок показника F за даними статистичних показників життєдіяльності, коли два з показників перевищує норму, але не виходять за порогові значення. Для прикладу обрано тиск із систолічним значенням – 160mmHg, а діастолічне значення - 100mmHg, отримане значення показника $F = 0.3877$ (близьке до значення 0,4). Такий результат вказує, що показник стану робітника знаходяться в області можливого погіршення здоров'я та загального стану.

Розрахунок показника F за даними статистичних показників життєдіяльності, коли всі три з показників значно перевищують норму. Для прикладу обрано температуру тіла із значенням 35°C, пульс – 40 ударів на хвилину, а тиск із систолічним значенням – 80mmHg і діастолічним значенням - 45mmHg, отримане значення показника $F = 0,9461$ (значення дуже близьке до критичного значення 1) вказує, що дана комбінація значень вхідних параметрів може сигналізувати про значну небезпеку для робітника з такими показниками життєдіяльності і диспетчер має негайно зреагувати по протоколу та прийняти рішення про негайне рятування життя робітника.

Висновки. В роботі розглянуто вирішення комплексної задачі розробки та моделювання алгоритму моніторингу місцезнаходження та індивідуальних показників життєдіяльності гірників у режимі реального часу в шахтній промисловості. Навчання підсумкової моделі F проводилося за спостереженнями, які максимально можливо охоплювали всі статистичні показники, що були отримані при зборі інформації. Результатом навчання стали групи кластерів і правил. Модель F дає точні результати, коли вхідні дані потрапляють в межі знайдених кластерів, про це свідчить те що у процесі навчання помилка моделі знизилася з 0,00006 до 0,00002. Отже, шляхом прядення тестування в модель задавалися різні значення показників життєдіяльності робітників, що дало змогу оцінити індивідуальний стан кожного шахтаря та розробити рекомендації щодо забезпечення безпечних умов праці в режимі реального часу. Розроблений алгоритм повністю синхронізується з пультом диспетчера та забезпечує зворотній в'язок для вчасного реагування на можливі ризики для життя робітника. Розрахункові показники дають змогу віднести отриманий з моделі коефіцієнт з рівнями безпеки та сигналізувати про погіршення чи покращення кожного з показників. Відповідна індикація дозволяє вчасно надати рекомендації та допомагає у пошуково-рятувальних операціях під час виникнення позаштатних ситуацій.

Список літератури

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. Наказ Державного комітету України з промислової безпеки,

охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10#Text>

2. Фонд соціального страхування України «Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань за 2022 рік». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/publish/article/971983>

3. Гірничий закон України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1999, № 50, ст.433. Документ 1127-XIV, чинний, поточна редакція — Редакція від 28.03.2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1127-14#Text>

4. Автоматизація процесів диспетчеризації вугільних шахт на основі системи прийняття рішень: монографія / А.В. Малієнко ; М-во освіти і науки України; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2019. 192 с.

5. Лабузова А.М., Воропаєва А.О., Воропаєва В.Я./Структура та функціонал автоматизованої підсистеми моніторингу та контролю технологічних показників видобувних забоїв вугільних шахт // Всеукраїнський науковий збірник Науковий вісник Донецького національного технічного університету. (Луцьк, 2022р.). С. 63-73.

6. Кодекс усталеної практики МОП «Безпека та гігієна праці під час розробки вугільних родовищ підземним способом». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hrujg>

7. Лабузова А.М., Воропаєва В.Я. СУЧАСНІ ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ГІРНИКІВ ПІД ЧАС АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ // «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: зб. доповідей VII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 1-2 грудня 2021 р./ ДВНЗ «ДонНТУ»; відп. ред. Г.В. Ступак. Покровськ: ДВНЗ «Дон- НТУ», 2021. С. 30 – 34

8. Теорія і методика фізичного виховання : підруч. для студ. вищ. навч. закладів фіз. виховання і спорту : в 2 т. / під ред. Т. Ю. Круцевич. К. : Олімпійська література, 2008.

9. Ikeda, Y., Kawamura, Z. P. L., Tungol, M. A., Moridi, H., Jang / Implementation and Verification of a Wi-Fi Ad Hoc Communication System in an Underground Mine Environment // Journal of Mining Science, 2019. p. 505–514.

10. Karakose M. Block based fuzzy controllers / Mehmet Karakose, Erhan Akin // Department of Computer Engineering, University of Firat , Elazig, Turkey, 2010. N 3(1). P. 100 – 110

11. Rotshtein A. Design and tuning of fuzzy rule-based system for medical diagnosis / A. Rotshtein // Fuzzy and Neuro-Fuzzy Systems in Medicine / Eds.: N.H. Teodorescu, A. Kandel, L.C. Jain. USA, Boca-Raton : CRC-Press. 1998. P. 243–289.

References

1. State Committee of Ukraine for Industrial Safety, Labor Protection, and Mining Supervision. (2010). Safety rules in coal mines. Order No. 62, March 22, 2010. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10#Text>

2. Social Insurance Fund of Ukraine. (2022). Prevention of occupational injuries and professional illnesses for the year 2022. Retrieved from <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/publish/article/971983>

3. Verkhovna Rada of Ukraine. (1999). Mining Law of Ukraine. Voice of Ukraine Parliament, No. 50, p. 433. Document 1127-XIV, current version - Revision as of March 28, 2023. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1127-14#Text>

4. Maliyenko, A. V. (2019). Automation of dispatching processes in coal mines based on decision-making system: monograph. Ministry of Education and Science of Ukraine; National Technical University "Dnipro Polytechnic". Dnipro: NTU "DP".

5. Labuzova, A. M., Voropaieva, A. O., & Voropaieva, V. Ya. (2022). Structure and functionality of an automated subsystem for monitoring and control of technological indicators of coal mine workings. Scientific Bulletin of Donetsk National Technical University, Lutsk, 63-73.

6. International Labour Organization. (n.d.). Code of Practice on Safety and Health in Coal Mines. Retrieved from <http://surl.li/hrujg>

7. Labuzova, A. M., & Voropaieva, V. Ya. (2021). Modern means of monitoring miners' location during emergency situations. In "ТАК": Telecommunications, Automation, Computer-Integrated Technologies: Proceedings of the 7th All-Ukrainian Scientific-Practical Conference of Young Scientists, December 1-2, 2021 (pp. 30-34). Pokrovsk: Donetsk National Technical University.

8. Krucyevych, T. Yu. (Ed.). (2008). Theory and methodology of physical education: textbook for students of higher educational institutions of physical education and sports (Vol. 2). Kyiv: Olympic Literature.

9. Ikeda, H., Kawamura, Y., Tungol, Z. P. L., Moridi, M. A., & Jang, H. (2019). Implementation and Verification of a Wi-Fi Ad Hoc Communication System in an Underground Mine Environment. Journal of Mining Science, 505-514.

10. Karakose, M., & Akin, E. (2010). Block-based fuzzy controllers. Department of Computer Engineering, University of Firat, Elazig, Turkey, 3(1), 100-110.

11. Rotshtein, A. (1998). Design and tuning of fuzzy rule-based system for medical diagnosis. In N.H. Teodorescu, A. Kandel, & L.C. Jain (Eds.), Fuzzy and Neuro-Fuzzy Systems in Medicine (243-289). Boca-Raton, USA: CRC Press.

Надійшла до редакції 31.05.2023

V. Voropaieva, A. Labuzova, D. Zhukovska, A. Voropaieva

DEVELOPMENT AND SIMULATION OF A DECISION-MAKING ALGORITHM REGARDING THE CRITICAL STATE OF HEALTH OF UNDERGROUND COAL MINE WORKERS

Purpose. Improving the effectiveness of management decisions regarding the safety of underground coal mine workers by developing an algorithm for making decisions about the critical health condition of a miner.

Results. The work solves the complex task of developing and modeling a decision-making algorithm about the state of health and individual vital indicators of miners in real time: the list of indicators for monitoring is substantiated and their levels have been ranked; technical means of monitoring have been selected; fuzzy logic rules and an algorithm for making a decision about the criticality of an underground worker's health have been developed; simulation of the algorithm has been performed. The proposed algorithm allows real-time tracking of the location of miners and provides individual information on indicators of their physical condition, such as body temperature, pulse and blood pressure. This provides an opportunity to quickly respond to potentially dangerous situations and act appropriately.

Scientific novelty. The novelty of the work consists in the development of an algorithm that combines the monitoring of the location and individual vital signs of miners and decision-making about their physical condition.

Practical importance. The approaches proposed in the work can be implemented in the existing operational and dispatching control systems of coal enterprises and allow monitoring the emergence of critical health conditions of workers.

Keywords: coal mine, decision making, automated control, monitoring, vital signs, miner, dispatcher, data transfer.

Відомості про авторів

Воропаєва Вікторія Яківна, к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; viktoriya.voropayeva@donntu.edu.ua.

Лабузова Анастасія Миколаївна, аспірант кафедри автоматизації та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; anastasiia.labuzova@donntu.edu.ua.

Жуковська Дар'я Олександрівна, асистент кафедри автоматизації та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; daria.zhukovska@donntu.edu.ua.

Воропаєва Анна Олександрівна, к.т.н., доцент, доцент кафедри Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу; anna.voropaieva@nung.edu.ua.

Voropaieva Viktoriia, Candidate of Technical Sciences, Ph.D., Associate Professor, Vice-rector for scientific and pedagogical work, SHEE "Donetsk National Technical University"; viktoriya.voropayeva@donntu.edu.ua.

Labuzova Anastasiia, post-graduate student of the Department of Automation and Telecommunications SHEE "Donetsk National Technical University"; anastasiia.labuzova@donntu.edu.ua.

Zhukovska Daria, assistant of the Department of Automation and Telecommunications SHEE "Donetsk National Technical University"; daria.zhukovska@donntu.edu.ua.

Voropaieva Anna, Candidate of Technical Sciences, Ph.D., Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Technologies and Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas; anna.voropaieva@nung.edu.ua.