

рактеристики цих об'єктів, повинні бути переважно дистанційними, тобто безпечними. Тому доцільним є подальше дослідження використання цифрових зйомок в гірництві, так як цифрові технології стрімко розвиваються, що дозволяє удосконалювати маркшейдерське забезпечувати.

Список літератури

1. Yao H., Qin R., Chen X. Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications - A review Remote Sens., 11 (12) (2019), p. 1443
2. Yuda M., Xiangjun Z., Weiming S., Shaofeng L. Target accurate positioning based on the point cloud created by stereo vision 2016 23rd International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, M2VIP, IEEE (2016), pp. 1-5
3. Rysbekov K., Huayang D., Kalybekov T., Sandybekov M., Idrissov K., Zhakypbek Y. Bakhmagambetova G., Application features of the surface laser scanning technology when solving the main tasks of surveying support for reclamation. Mining of Mineral Deposits. 2019, 13(3):40-48. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.040>
4. Choquet, P., Taylor, R.M., and Byerley, C. Payback of automated geotechnical instrumentation monitoring for open pit mines as compared to manual data collection. In Proceedings of the CIM Conference 2016, Vancouver.
5. Dolgikh O., Dolgikh L., Ilezov K., Maletskii N. The use of the construction with a digital camera and GPS receiver while researching dangerous areas. E3S Web of Conferences 280, 08009 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128008009>
6. Kalinichenko V., Dolgikh O., Dolgikh L., Pysmennyi S. Choosing a camera for mine surveying of mining enterprise facilities using unmanned aerial vehicles. Mining of Mineral Deposits. (2020). 14(4), 31-39. <https://doi.org/10.33271/mining14.04.031>
7. Kalinichenko V., Dolgikh O., Dolgikh L. Digital survey in studying open pit wall deformations. E3S Web of Conferences 123, 0 (2019) Ukrainian School of Mining Engineering - 2019 1047 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301047>
8. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1988, - 112
9. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. ЛВНИИ, 1975, - 68 с.
10. Правила виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 06 липня 2021 року № 884/36506, - 112 с

Рукопис подано до редакції 23.05.2023

УДК 622.8

А.К. ГАЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., І.А. ГАЦЬКИЙ, аспірант
Криворізький національний університет

СИНТЕЗ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В КАМЕРІ АВАРІЙНОГО ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ

Стаття присвячена обґрунтуванню експериментальних досліджень параметрів стану мікроклімату, та як результат проведення синтезу управління мікроклімату в камері аварійного повітропостачання.

Метою цього дослідження є створення системи управління мікрокліматом в мобільній камері аварійного повітропостачання за для утворення нормальних санітарно-гігієнічних умов в негерметичній камері аварійного повітропостачання, шляхом реалізації стабілізації концентрації кисню та температури в повітрі.

Метод дослідження. При створенні системи управління мікрокліматом в КАПП використано статистичний метод завдяки якому доведена адекватність математичної моделі повітрообміну в робочій камері КАПП, також використано метод ступінчатого обурення та метод дії релейних керуючих впливів по концентрації кисню в повітрі та величині температури повітря на вході в камеру аварійного повітропостачання.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі градієнтного (ступінчатого) методу синтезовано алгоритм управління повітрообміном та теплообміном в камері аварійного повітропостачання з метою створення оптимальних кліматичних умов для робітників. Шляхом експериментальних досліджень за допомогою статистичних методів доведена адекватність синтезу управління мікрокліматом в робочій камері КАПП, яка підтвердила гідродинамічну структуру близьку до ідеального перемішування повітря.

Практична цінність. Створення синтезу управління мікрокліматом в камері аварійного повітропостачання надасть можливість підтримки заданої концентрації кисню в повітрі камери аварійного повітропостачання із забезпеченням надлишкового тиску в КАПП та підтримки заданої температури повітря в камері, що надає належні умови перебування робітників в мобільній камері.

Результат. Доведена за допомогою експериментальних досліджень доцільність застосування підтримки мікроклімату в камері аварійного повітропостачання шляхом стабілізації, згідно вимог техніки безпеки концентрацій кисню у повітрі і температури повітря в камері аварійного повітропостачання, за рахунок дії релейних керуючих впли-

вів по концентрації кисню та величині температури повітря в КАПП, що дозволить підвищити рівень безпеки та нормалізації умов життєдіяльності робітників, які знаходяться в камері.

Ключові слова: камера аварійного повітропостачання, математичне моделювання, повітрообмін, теплообмін, структурний синтез, ідентифікація параметрів, мікроклімат, кисень, повітря, надлишковий тиск, залежність концентрації.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проблема полягає в тому що, під час проведення гірничих робіт в підземних виробках шахт відбувається порушення нормальних умов праці, яке інколи спричиняється аварією, що може призвести до загибелі робітників [1-3]. Для підвищення рівня безпеки під час ліквідацій аварій необхідні нові методи та впровадження, які знизять коефіцієнт частоти травмування та смертності робітників у підземних гірничих виробках [4]. Тому виникає завдання у розробці нових конструктивних рішень, заходів безпеки при виникненні аварій у вибоях гірничих виробок шахт та створення задовільних умов за рахунок синтезу управління мікрокліматом.

Для синтезу управління мікрокліматом потрібен час, за який об'єкт змінюється непередбачуваним чином, в результаті чого це управління вже приведе до бажаного результату. Ефективним способом боротьби з параметрами складного об'єкта управління є екстраполяція його поведінки. У цьому випадку управління здійснюється з випередженням, з урахуванням зміни об'єкта. Таким чином, що для побудови системи управління кліматом в КАПП необхідне проведення математичного моделювання процесів, які визначають цей мікроклімат [5].

Аналіз досліджень і публікацій. Нормалізація параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою комплексу заходів та засобів колективного захисту, які включають будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-гігієнічні, технічні та інші [6]. Норми виробничого мікроклімату встановлені системою безпеки праці СанПіН 2.2.4.548-96. За ступенем впливу на самопочуття людини, його працездатність мікрокліматичні умови підрозділяються на оптимальні, допустимі, шкідливі і небезпечні. Оптимальні мікрокліматичні умови характеризуються такими параметрами показників мікроклімату, які при їх одночасному впливі на людину протягом робочої зміни забезпечують збереження теплового стану організму. У цих умовах напруга терморегуляції мінімально, загальні та/або локальні дискомфортні тепловідчуття відсутні, що є передумовою збереження високої працездатності.

Складовими системи вентиляції (повітропостачання) КАПП є повітрозабірні пристрої, протипилові фільтри, фільтри-поглиначі, вентилятори, розвідна мережа, повітрорегулювальні і захисні пристрої, а також при необхідності засоби регенерації, теплоємні фільтри (повітроохолоджувачі), фільтри для очищення повітря від окису вуглецю [7].

Система повітропостачання повинна забезпечувати осіб, що укриваються у КАПП, необхідною кількістю повітря відповідної температури, вологості і газового складу.

При випробуванні (перевірці) на герметичність застосовують метод виміру підпору повітря. Він полягає у вимірі різниці між надмірним тиском усередині КАПП (при працюючій системі повітропостачання) і шахтним. Надмірний тиск при подачі у приміщення визначеної кількості повітря створюється лише у тому випадку, коли немає більшого його витоку через нещільності та інші місця в огорожувальних конструкціях, тобто коли КАПП герметична.

Проте питання управління мікрокліматом в камері аварійного повітропостачання та його моделювання не підіймалось та не проводилось, в результаті чого не має ідеальної моделі (формули) функціонування мікроклімату в камері.

Постановка завдання. Головним завданням є визначити в експериментальних умовах ефективність нормалізації мікроклімату та управління його параметрами в камері аварійного повітропостачання. Розробити методику забезпечення нормальних умов перебування людей в негерметичній камері аварійного повітропостачання з використанням математичного моделювання процесів повітрообміну.

Викладення матеріалу та результати. Для побудови управління мікрокліматом в КАПП необхідно реалізація двох задач: підтримки заданої концентрації кисню в повітрі КАПП та забезпечення надлишкового тиску в КАПП.

Обидві задачі відносяться до задач стабілізації вибраних режимів. Перша задача, де реалізується стабілізація концентрації кисню в повітрі КАПП, обумовлена необхідністю створення

комфортних умов в робочій камері КАПП для людей, які опинилися в небезпеці під час гірничих робіт [8]. Звісно, що якість повітря, яке необхідно для підтримки життєвих процесів всіх живих організмів Землі, визначається вмістом у ньому кисню.

Вміст кисню в повітрі повинна знаходитися в межах 19,5% – 22,3%. Якщо вміст кисню в повітрі нижче $C_{\min} = 19,5\%$, то це буде дефіцит кисню або якщо вище $C_{\max} = 22,3\%$, то це є надлишок кисню. Враховуючи межі концентрації кисню в повітрі, можна припустити, що комфортною концентрацією кисню в повітрі буде середня величина

$$\bar{C} = \frac{C_{\min} + C_{\max}}{2} = \frac{19.5 + 22.3}{2} = 20.9\% . \quad (1)$$

Математичне моделювання повітрообміну в камері дозволило здобути формулу

$$C = C_0 + (C_n - C_0) \cdot e^{-\frac{0.154}{V} \tau} . \quad (2)$$

Формула (2) дає можливість визначити концентрацію кисню в повітрі КАПП (C) в залежності від початкової концентрації кисню в повітрі КАПП (C_n), ступінчастої дії концентрації кисню в повітрі КАПП (C_0), а також від робочого об'єму КАПП (V) і часу спостереження (τ). Треба підкреслити, що, як було знайдено в відповідних експериментах, об'ємна швидкість повітря в камері становила $v=0,154 \text{ м}^3/\text{хв.}$

В якості прикладу розглянута ситуація, яка представлена в (табл.1).

Таблиця 1

Залежність концентрації кисню в повітрі камери від часу спостереження

$C_0, \%$ $\tau, \text{хв}$	19.5	20	20.5	21
0	19	19	19	19
10	19.04	19.08	19.12	19.16
20	19.08	19.16	19.24	19.31
30	19.11	19.23	19.34	19.45
40	19.14	19.29	19.43	19.58
50	19.17	19.35	19.52	19.70
60	19.20	19.40	19.60	19.80
70	19.23	19.45	19.68	19.90
80	19.25	19.50	19.74	19.99
90	19.27	19.54	19.81	20.07
100	19.29	19.57	19.86	20.15
110	19.30	19.61	19.91	20.22
120	19.32	19.64	19.96	20.28

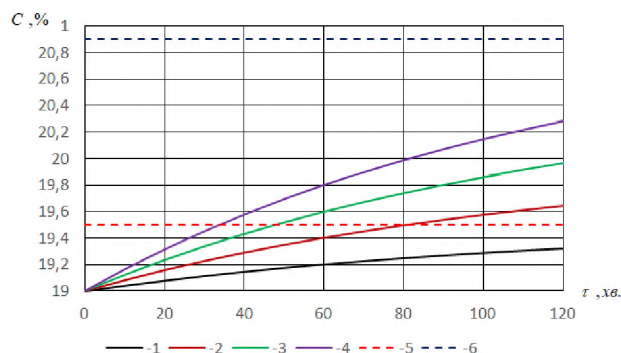
Згідно проведених розрахунків, вважалось, що в камері не було людей, тобто, $V=18 \text{ м}^3$ початкова концентрація кисню в повітрі камери становила $C_n = 19\%$. Таким чином, формула має вигляд

$$C = C_0 + (19 - C_0) \cdot e^{-8.556 \cdot 10^{-3} \tau} . \quad (3)$$

На (рис.1) представлено графічне зображення результатів, представлених в (табл.1). Аналіз даних (табл.1) і графіків, приведених на (рис.1), показує, що зі збільшенням часу спостереження концентрація кисню в повітрі камери зростає. При зростанні вхідної концентрації кисню з більшою швидкістю зростає також і концентрація кисню в повітрі камери. Мінімальну концентрацію кисню в повітрі, яка визначена червоною горизонтальною пунктирною лінією, графіки концентрації кисню в повітрі камери перетинають через 30–80 хвилин. Середній рівень концентрації кисню в повітрі, який визначений на (рис.1) синьою горизонтальною пунктирною лінією, не досягається за визначений час.

Рис.1. Графіки залежності концентрації кисню в камері залежно від часу спостереження при діях різних вхідних концентрацій кисню: 1- $C_0 = 19.5\%$; 2- $C_0 = 20\%$; 3- $C_0 = 20.5$; 4- $C_0 = 21\%$; 5- $C_{\min} = 19.5\%$; 6- $\bar{C} = 20.9\%$.

В (табл.2) представлені результати розрахунків залежності концентрації кисню в повітрі від часу спостереження для різної кількості людей в камері, при вхідній концентрації кисню $C_0=20,9\%$. Згідно даних (табл.2) на (рис.2) представлені відповідні графіки.



Таблиця 2

Залежність концентрації кисню в повітрі камери від часу спостереження для різної кількості людей в камері

n , людей τ , хв	0	2	4	6	8
0	19	19	19	19	19
10	19.16	19.17	19.20	19.23	19.27
20	19.30	19.33	19.38	19.43	19.50
30	19.43	19.48	19.53	19.61	19.70
40	19.55	19.61	19.68	19.76	19.87
50	19.66	19.73	19.80	19.90	20.02
60	19.76	19.83	19.92	20.02	20.15
70	19.86	19.93	20.02	20.13	20.25
80	19.94	20.02	20.11	20.22	20.35
90	20.02	20.10	20.19	20.30	20.42
100	20.09	20.17	20.27	20.37	20.49
110	20.16	20.24	20.33	20.44	20.55
120	20.22	20.30	20.39	20.49	20.60

C, %

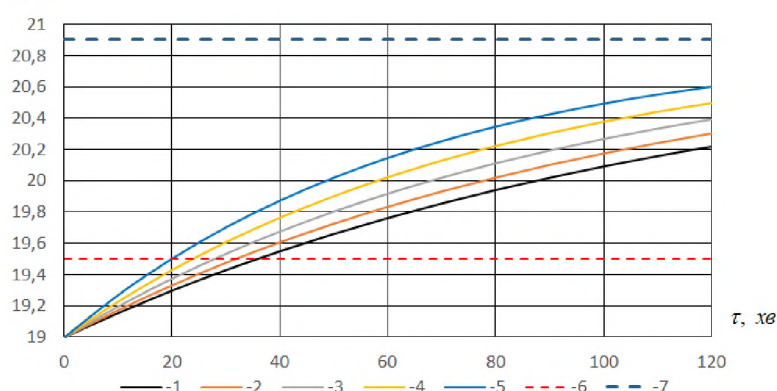


Рис.2. Графіки залежності концентрації кисню в камері залежно від часу спостереження для різної кількості людей в камері: 1- $n = 0$; 2- $n = 2$, 3- $n = 4$, 4- $n = 6$, 5- $n = 8$, 6- $n = 10$, 7- $n = 12$. $C_{\min} = 19.5\%$, $C_{\max} = 20.9\%$

Аналіз даних, приведених в (табл.2) і на (рис.2), показує, що із зростом часу спостереження концентрація кисню в камері зростає при різній наповненості камери людьми. Разом з цим при збільшенні кількості людей

в камері швидкість збільшення концентрації кисню в повітрі камери зростає, що пояснюється зменшенням вільного робочого об'єму камери. Важливо, що нижня межа концентрації кисню в повітрі, яка визначена горизонтальною пунктирною червоною лінією, перетинається через 10-20 хвилин. В свою чергу, середня межа концентрації кисню в повітрі, яка визначена горизонтальною пунктирною синьою лінією, досягається більш ніж за 120 хвилин.

Формула (2) дозволяє розрахувати величину керуючого впливу у вигляді ступінчастої функції по концентрації кисню у повітрі, який подається в камеру, з метою досягнення заданої концентрації кисню в повітрі камери за визначений час. Дійсно, розв'яжемо рівняння (2) відносно концентрації C_0 , розглядаючи її як керуючий вплив,

$$C_{\text{кв}} = \frac{C_{\text{зад}} - C_{\text{п}} \cdot e^{-\frac{0.154}{V} \tau_{\text{зад}}}}{1 - e^{-\frac{0.154}{V} \tau_{\text{зад}}}}, \quad (4)$$

де $C_{\text{зад}}$ – задана концентрація кисню в камері, %, $\tau_{\text{зад}}$ – заданий час досягнення $C_{\text{зад}}$, хв.

В якості прикладу було розглянуто алгоритм нанесення керуючих впливів по концентрації кисню в повітрі на вході камери, коли

$$V = 18 \text{ м}^3, C_{\text{п}} = 18\%, C_{\text{зад}} = 20.9\%, \tau_{\text{зад}} = 25 \text{ хв}, C_{\min} = 19.5\%, C_{\max} = 22.3\%. \quad (5)$$

Згідно формули (4) знаходимо, що величина керуючого впливу становить $C_{\text{кв}} = 33.1\%$. Разом з цим, враховуючи, що час спостереження становить 120 хв., а величина концентрації кисню в повітрі камери обмежена, тобто, згідно формули (1),

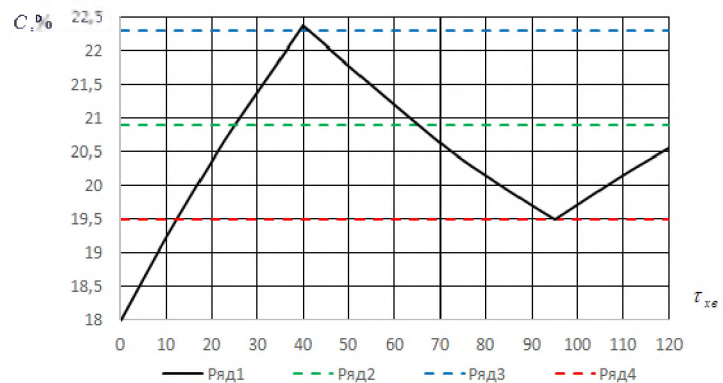
$$19.5\% \leq C \leq 22.3\%, \quad (6)$$

треба так обчислювати керуючі впливи по концентрації кисню в повітрі на вході камери, щоб виконувалась умова (6). Результати дії таких керуючих впливів показані на (рис.3).

На (рис.3) різнокольоровими пунктирними лініями показані обмеження, які накладаються на величину концентрації кисню в камері. Червона лінія відповідає нижній межі концентрації кисню в повітрі $C_{\min} = 19.5\%$, синя лінія – верхній межі концентрації кисню в повітрі $C_{\max} = 22.3\%$. Сенс керування полягає в тому, щоб, згідно інформації в рівності (5), через

$\tau_{\text{зад}} = 25$ хв концентрація кисню в повітрі камери стала $C_{\text{зад}} = 20.9\%$. Разом з цим, в подальшому концентрація кисню в повітрі камери продовжує зростати, досягаючи в момент часу $\tau = 40$ хв верхньої межі концентрації кисню $C_{\text{max}} = 22.3\%$. В цей момент часу наноситься управляюче керування по концентрації кисню, яке дорівнює $C_{\text{кв}} = 15\%$. В результаті концентрація кисню в повітрі камери буде зменшуватися, що підтверджує відповідна лінія на графіку (рис.3). В той момент часу, коли концентрація кисню в камері досягає мінімальної межі $C_{\text{min}} = 19.5\%$, наноситься управляюче керування по концентрації кисню $C_{\text{кв}} = 25\%$. В результаті концентрація кисню в повітрі камери почне зростати, що обмежується заданим часом $\tau = 120$ хв. Зрозуміло, що можлива й інша послідовність нанесення керуючих впливів по концентрації кисню у вхідному повітрі камери. Важливо підкреслити, що послідовність керуючих впливів носить релейний характер, в результаті чого зміна концентрації кисню в повітрі камери приймає «пилкоподібний» вигляд.

Рис.3. Графік зміни концентрації кисню в камері при дії керуючих впливів з метою стабілізації концентрації кисню в межах, визначених умовою (6)



Математичне моделювання повітрообміну в КАПП дозволило здобути формулу, яка визначає відносний приріст тиску повітря в камері в залежності від концентрації кисню в повітрі камери. При виведенні формули приймемо, що повітря складається із двох рідин – кисню і азоту.

Тоді масова доля цих рідин визначиться по формулам [9]

$$\omega_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}, \quad \omega_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2}, \quad (7)$$

де m_1 – маса кисню, кг; m_2 – маса азоту, кг. В свою чергу масова концентрація кожної із них визначиться по формулам

$$C_1 = \frac{m_1}{V_1}, \quad C_2 = \frac{m_2}{V_2}, \quad (8)$$

де V_1 – об'єм кисню, м^3 , V_2 – об'єм азоту, м^3 . Оскільки в нашому випадку $V_1 = V_2 = V$, де V – об'єм камери, м^3 , то формула (8) приймає вигляд

$$C_1 = \frac{m_1}{V}, \quad C_2 = \frac{m_2}{V}. \quad (9)$$

Знайдемо зв'язок між двома видами концентрацій (масовій долі і масовій концентрації)

$$\omega_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{\frac{m_1}{V}}{\frac{m_1}{V} + \frac{m_2}{V}} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}, \quad \omega_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{\frac{m_2}{V}}{\frac{m_1}{V} + \frac{m_2}{V}} = \frac{C_2}{C_1 + C_2}. \quad (10)$$

Із здобутих формул (10) знаходимо

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{C_2}{C_1}. \quad (11)$$

Далі скористаємось рівнянням Клапейрона-Менделєєва [10],

$$p \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T \quad (12)$$

Згідно рівняння (12) маємо для кисню і азоту, відповідно, формули

$$p_1 \cdot V = \frac{m_1}{M_1} R \cdot T, \quad p_2 \cdot V = \frac{m_2}{M_2} R \cdot T \quad (13)$$

Із формул (13) знаходимо парціальні тиски для кисню і азоту, відповідно,

$$p_1 = \frac{C_1}{M_1} R \cdot T, \quad p_2 = \frac{C_2}{M_2} R \cdot T \quad (14)$$

Далі знаходимо загальний тиск як суму парціальних тисків, враховуючи формулу (14),

$$p = p_1 + p_2 = \frac{C_1}{M_1} R \cdot T + \frac{C_2}{M_2} R \cdot T, \quad p = \left(\frac{C_1}{M_1} + \frac{C_2}{M_2} \right) \cdot R \cdot T. \quad (15)$$

Скористаємось рівняннями (10), щоб здобути

$$\begin{cases} \omega_1 \cdot (C_1 + C_2) = C_1 \\ \omega_2 \cdot (C_1 + C_2) = C_2 \end{cases} \quad (16)$$

Із системи рівнянь (16) знаходимо

$$C_1 = \frac{\omega_1}{1-\omega_1} C_2. \quad (17)$$

Із рівнянь (15), згідно формули (17), знаходимо

$$p = C_2 \cdot \left(\frac{1}{M_1} \frac{\omega_1}{1-\omega_1} + \frac{1}{M_2} \right) \cdot R \cdot T \quad (18)$$

Знайдемо приріст тиску в камері завдяки збільшенню масової долі кисню в повітрі камери

$$\Delta p_1 = C_2 \frac{R \cdot T}{M_1} \Delta \left(\frac{\omega_1}{1-\omega_1} \right) \quad (19)$$

Враховуючи, що приріст приблизно дорівнює

$$\Delta \left(\frac{\omega_1}{1-\omega_1} \right) \approx \left(\frac{\omega_1}{1-\omega_1} \right)' \cdot \Delta \omega_1 = \frac{\Delta \omega_1}{(1-\omega_1)^2}, \quad (20)$$

формула (19) прийме вигляд

$$\Delta p_1 = C_2 \frac{R \cdot T}{M_1} \cdot \frac{\Delta \omega_1}{(1-\omega_1)^2}. \quad (21)$$

Відносне збільшення тиску повітря в камері знаходимо, як відношення рівняння (21) до (18)

$$\frac{\Delta p_1}{p} = \frac{C_2 \frac{R \cdot T}{M_1} \frac{\Delta \omega_1}{(1-\omega_1)^2}}{C_2 \left(\frac{1}{M_1} \frac{\omega_1}{1-\omega_1} + \frac{1}{M_2} \right) \cdot R \cdot T},$$

або, після алгебраїчних перетворень,

$$\frac{\Delta p_1}{p} = \frac{\Delta \omega_1}{(1-\omega_1)^2 \left(\frac{\omega_1}{1-\omega_1} + \frac{M_1}{M_2} \right)} \quad (22)$$

Враховуючи, що $\Delta \omega_1 = \omega - \omega_n$, $\omega_1 = \omega_n$, $M_1 = 32$, $M_2 = 28$, отримуємо формулу для обчислення відносного збільшення тиску повітря в камері внаслідок збільшення масової долі кисню в повітрі камери

$$\frac{\Delta p_1}{p} = \frac{\omega - \omega_n}{(1-\omega_n)^2 \left(\frac{\omega_n}{1-\omega_n} + \frac{8}{7} \right)} \quad (23)$$

На (рис.4) представлений графік залежності збільшення відносного тиску в камері від вмісту кисню в повітрі камери.

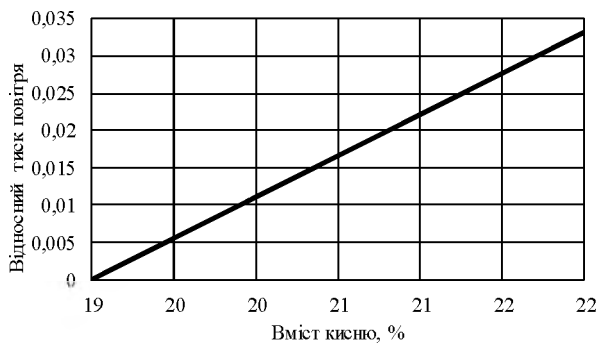


Рис.4. Графік залежності відносного збільшення тиску повітря від вмісту кисню в повітрі камери.

Аналіз графіка на (рис.4) показує, що відносний тиск повітря в камері лінійно збільшується при збільшенні вмісту кисню в повітрі камери, що дає можливість утворити умови для блокування проникнення зовнішнього повітря в камеру.

Таким чином, загальний синтез управління станом мікроклімату в випробувальній камері визначається двома моделями: концентрації кисню в повітрі та забезпечення надлишкового тиску в камері.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Доведена необхідність експериментальних досліджень на базі застосування сучасних засобів обчислювальної техніки з метою вивчення стану мікроклімату в камері аварійного повітропостачання.

Шляхом експериментальних досліджень за допомогою статистичних методів доведена адекватність математичної моделі повітрообміну в робочій камері КАПП, яка підтвердила гідродинамічну структуру близьку до ідеального перемішування повітря.

Доведена за допомогою експериментальних досліджень доцільність застосування підтримки мікроклімату в камері аварійного повітропостачання шляхом стабілізації комфортних згідно

вимог техніки безпеки концентрацій кисню у повітрі та надлишкового тиску в камері, методом дії релейних керуючих впливів.

Список літератури

1. **Лапшин О.Є., Гацький А.К., Гацький І.А.** Розроблення заходів безпеки при виникненні аварій у гірничих виробках шахт на основі використання мобільної камери повітропостачання. Вісник Криворізького національного університету. Випуск 52. Кривий Ріг 2021. 44-49 с.
2. **Бизов В.Ф., Лапшин О.Є.** Охорона праці в гірництві: в 14 т.: підручник для вузів за напрямком "Гірництво". Т.7/Бібліотека гірничого інженера. – Кривий Ріг: Мінерал, 2001. – 251 с.
3. Аерологія гірничих підприємств / **А.О. Гурін, П.В. Бересневич, А.А. Немченко, І.Б. Ошмянський.** – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2007. – 461 с.
4. Пересувна камера повітропостачання в гірничих виробках. Патент на корисну модель UA №151129, E21F 11/00, опубл. Бюл. № 23, 2022 р. **Лапшин О.Є., Лапшин О.О., Гацький А.К., Гацький І.А., Піддубний О.В.**
5. Математичне моделювання новітніх технологічних систем.: Монографія / **Матвійчук В.А., Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А.** – Вінниця: 2021. – 193 с.
6. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Постанова Міністерства охорони здоров'я України від 01.12.1999 №42.
7. Інструкція щодо утримання захисних споруд цивільної оборони у мирний час. Наказ Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 09.10.2006 №653.
8. Кислород – основа жизни: монография / под. ред. **Сыровой А.О.** / Харьков, ХНМУ, 2013. – 232 с.
9. **Якібчук П.М., Клим М.М.** Молекулярна фізика. Підручник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2013. – 584 с.
10. Рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона-Менделєєва). Отримано з <https://formula.kr.ua/vlastivosti-gaziv-gazovi-zakoni/rivniannia-stanu-idealnoho-hazu-rivniannia-klapeirona-mendelieieva.html>

Рукопис подано до редакції 23.05.2023