

14. Virtual Laboratory: An Alternative Method of Practicum Learning in Higher Education during the Covid-19 Pandemic / Abd. Qadir Muslim1, Hermawan, Erlita Cahyasari, Muhammad Adip Fanani // Journal of Education Technology, 2022.- Volume 6.- Number 2.- pp. 226-236

15. Virtual Laboratory for Online Practicum Learning/ Sri Subekti, A. Ana, Cica Yulia, Nia Lestari, Muktiarni, Indah Khoerunnisa, Asep Maosul // Journal of Engineering Education Transformations, 2022.- Volume: 35.- Issue: Special Issue 2.- pp 116-123

Рукопис подано до редакції 23.05.2023

УДК 622.1:528.7

О. В. ДОЛГІХ, Л. В. ДОЛГІХ, кандидати техн. наук, доценти  
Криворізький технічний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ ЗЙОМОК ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЗОНИ ЗРУШЕНЬ ВІД ШАХТИ ІМ. КОЛАЧЕВСЬКОГО

**Метою досліджень** є розробка ефективного способу спостереження за деформаціями денної поверхні та спорудами, розташованими в зоні впливу підземних гірничих робіт та на прилеглих територіях, використовуючи для цього методи цифрової фотограмметрії, яка ґрунтується на отриманні даних про об'єкт на деякій відстані від нього.

**Методика досліджень** ґрунтується на даних аналізу результатів експериментальних робіт на об'єктах відкритої та підземної розробки корисних копалин. В результаті досліджень деформацій на територіях шахти та кар'єру була використана методика, яка включає такі методи, як спостереження, вимірювання, обчислення, експеримент, порівняння тощо. При цьому було використано різні цифрові камери з відповідними їм характеристиками.

**Результатом дослідження** є удосконалення методики виконання знімальних робіт на об'єктах гірничодобувних підприємств, з метою дослідження горизонтальних та вертикальних деформацій, використовуючи для цього результати опрацювання аеро- та наземних цифрових знімків, отриманих відповідно з БПЛА та з земної поверхні. Встановлено, що для виконання цифрової зйомки необхідно попередньо дослідити відповідність характеристик цифрової камери вимогам, що ставляться до геометричних властивостей отриманих нею знімків, що впливає на точність визначення деформацій.

**Наукова новизна** результатів дослідження полягає в отриманні з необхідною точністю величин деформацій денної поверхні та об'єктів, розташованих на ній, завдяки запропонованій методиці виконання знімальних робіт та суворому фотограмметричному опрацюванню знімків, отриманих за результатами як аеро- та наземного знімання. Аналіз цифрових знімальних камер дозволяє зробити вибір камери, яка, завдяки своїм характеристикам, дозволяє підвищити точність шуканих величин.

**Практична значимість** виконаних досліджень полягає в отриманні горизонтальних та вертикальних деформацій за результатами опрацювання растрових зображень, отриманих цифровими камерами, встановленими на БПЛА чи при зніманні з «руки» з земної поверхні. За опрацьованими цифровими знімками, можна виявляти зміни, які відбулися за проміжок часу між спостереженнями, та планувати чи уточнювати розміщення на земній поверхні профільних ліній та додаткових реперів, а також визначати величини деформацій. Запропоноване фарбування у відповідні кольори шуканих величин деформацій, дозволяє наочно представляти розподіл їх по досліджуваній ділянці.

**Ключові слова:** цифрова зйомка, камери, деформації, зображення, гірничі об'єкти

**Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Останнім часом, використовуючи для зйомок гірничих виробок сучасні цифрові камери та легкі носії для них, актуальним питанням є дослідження точності вирішення задач маркшейдерського забезпечення за отриманими зображеннями за допомогою сучасних камер та носіїв. Відомо, що на точність даних, отриманих за результатами опрацювання цифрових знімків, впливає ряд факторів [1,2]. Серед інших факторів, важливим є якість зображення, тобто висока роздільна здатність, відсутність різного роду спотворень тощо. Питанню підвищення ефективності маркшейдерського забезпечення відкритих та підземних розробок корисних копалин за рахунок впровадження у виробництво новітніх наукових досягнень, присвячена достатня кількість робіт вітчизняних та зарубіжних вчених.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Сучасні тенденції в маркшейдерській справі та в гірничій галузі у цілому пов'язані з впровадженням у виробництво інноваційних технологій і процесів [3-6]. Головною тенденцією є цифровізація всіх процесів і робіт. Цьому сприяє використання супутникових технологій, електронних та лазерних приладів для виконання вимірів, цифро-

вих камер та БПЛА для зйомочних робіт, сучасних комп'ютерних технологій для опрацювання даних тощо [7]. Новітні технології дозволяють скоротити витрати на устаткування, так як інколи один сучасний прилад дозволяє замінити декілька застарілих. Крім цього вони дозволяють зменшити кількість виконавців робіт та час виконання робіт, скоротити кількість простоїв та аварій на гірничому підприємстві, підвищити безпеку працівників.

**Постановка задачі.** На маркшейдерську службу гірничого підприємства покладено відповідальність за достовірність та точність даних, які використовуються для проектування та ведення гірничих робіт. Впроваджуючи нові технології у виробничий процес, маркшейдер повинен бути впевненим в їх ефективності. На сучасному етапі значна увага приділяється використанню цифрових зйомок для таких об'єктів як: кар'єри, розрізи, відвали пустих порід, хвостосховища тощо. Для досягнення необхідної точності цифрової зйомки, важливим є вірний вибір знімальної камери та методики виконання знімальних робіт в певних умовах.

**Викладення матеріалу та результати.** Для підвищення ефективності маркшейдерського забезпечення гірничих робіт використовуються новітні технології при виконанні вимірювальних, обчислювальних та графічних робіт. Для зйомок широко використовуються методи цифрової фотограмметрії.

З появою таких камер, як Canon D30 та D60, розпочалося масове їх використання для знімальних робіт у різних галузях. В роботі розглянута не вся лінійка цифрових камер, а тільки ті моделі, які застосовувались чи могли би застосовуватись у фотограмметрії. З 2005 року по теперішній час при складанні маркшейдерських планів та при дослідженнях за процесом зсуву земної поверхні в зоні впливу гірничих робіт шахти ім. Колачевського ПрАТ «ЦГЗК» кафедрою маркшейдерії КНУ використовувалися цифрові камери (рис. 1).



Рис. 1. Використання камер Canon на об'єктах гірничодобувних підприємств

Дослідження можливості виконання цифрових зйомок об'єктів гірничодобувних підприємств були розпочаті з використання для цього моделі Canon EOS350D, яка на 2005 рік була безперечним лідером та у поєднанні з 50-міліметровим об'єктивом Canon EF 50mm 1:1.8II задовольняла вимогам до точності побудови маркшейдерських планів. Це посприяло використанню цієї камери для наземного стереознімання на кар'єрі Інгулецького ГЗК. Зйомка за допомогою камери Canon EOS350D виконувалася, як зі штатива, так і «з руки». План складався з використанням вітчизняної програми DigitalS. На цей час фотографічна зйомка конкурувала з цифровою, і цей період можна назвати перехідним, коли одночасно використовувалися фотографічні та цифрові камери. Але фотографічна зйомка при достатньо високому розрізненні характеризувалася низькою оперативністю через необхідність попереднього опрацювання отриманих зображень на спеціальних сканерах, наприклад Delta Scan.

Майже через кілька років параметри камери Canon EOS350D значно застаріли. Здійснювалася стрімка еволюція CMOS-матриць, яка призвела до появи 18-ти та 23-х мегапіксельних матриць. Останнім часом спостерігається суттєве збільшення кількості пікселів матриці (кожні 2-3 роки), змінюється розмір матриці, вдосконалюється систем фокусування, що впливає на підвищення якості знімків, зменшення шумів зображення, особливо при недостатньому освітленні об'єктів зйомки. В табл. 1 продемонстровано поліпшення характеристик камер, а саме збільшення кількості пікселів матриці, на прикладі камер одного класу.

У 2018 році, у рамках НДР, зйомки укусу на території шахти ім. Колачевського, виконувалися цифровою камерою Canon 1200D, основними характеристиками якої є: CMOS-матриця з 17,9 млн пікселів (5184×3456) та розміром 22.3×14.9 мм; з коефіцієнтом crop factor  $K_f = 1,6$  (коефіцієнт, що характеризує зменшення поля зору відповідно до параметрів матриці повного кадру з розмірами 24×36мм); процесор DIGIC 4; байонет EF і EF-S тощо.

Перехід від камери Canon EOS350D до Canon 1200D характеризується збільшенням кількості пікселів матриці, і відповідно – підвищенням детальності зображення. Перехід до цифрово-

го способу опрацювання знімків дозволяє обробляти їх більшу кількість, що характерно для сучасних зйомок. Але камера Canon 1200D не має GPS-модуля для прив'язки знімків. З цієї причини було здійснено перехід до використання камери Canon 750D, в якій є можливість використання GPS-ресиверу GP-E2. На ринку нашої країни дана модель з'явилася у 2015 році, у 2019 році камера Canon 750D була використана при фотограмметричному зніманні укосу в зоні зсуву земної поверхні на території шахти ім. Колачевського ПрАТ «ЦГЗК».

Таблиця 1

Збільшення кількості пікселів в матрицях камер

Камери к кроп-фактором 1,6	Рік виходу моделі	Кількість мегапікселів
Canon 1100D	2011	12,2
Canon 1200D	2014	17,9
Повнокадровий сегмент		
5D Mark II	2008	21,1
5D Mark III	2012	22,3
Професійний сегмент		
EOS-1D Mark IV	2009	16
EOS-1D X	2012	17,9

Камера Canon 750D має CMOS-матрицю з 24 млн пікселів (6000×4000) розміром 22,3×14,9 мм і коефіцієнтом crop factor  $K_f = 1,6$ . Ця камера має процесор DIGIC 6 та байонет EF і EF-S.

Використання додаткового програмного забезпечення дозволило в режимі пост обробки присвоювати знімкам відповідні координати, записані в пам'яті ресивер. Тому при виконанні зйомок за допомогою цієї камери, важливо здійснювати синхронізацію поточного часу з часом Інтернету.

Використання камери Canon 750D дозволило підвищити якість знімків, чому сприяло підвищення кількості пікселів матриці та інноваційна система фокусування. Але через недолік цієї камери, пов'язаний з незручністю деяких програмних продуктів, які здійснюють перерахування фокусної відстані у еквівалент повного кадру, з 2020 року фотограмметрична зйомка виконується повнокадровою цифровою камерою Canon EOS 6D Mark II.

Слід відзначити, що параметрами цифрової камери Canon EOS 6D Mark II є: CMOS-матриця з 26,2 млн пікселів (6240 x 4160); розмір кадру 36,0x24,0 мм; коефіцієнт crop factor  $K_f = 1$ . Камера має процесор DIGIC 7 та Байонет EF; вбудований GPS-приймач з підтримкою бездротових мереж Wi-Fi, Bluetooth и технології NFC (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристики камер

	Canon EOS350D	Canon 1200D	Canon 750D	Canon EOS 6D Mark II
CMOS-матриця, мпкс.	8	17,9	24	26,6
Розмір матриці, мм	22,2 x 14,8	22,3 x 14,9	22,3 x 14,9	36,0 x 24,0
Процесор	DIGIC II	DIGIC 4	DIGIC 6	DIGIC 7
$K_f$	1,62	1,6	1,6	1
Додаткові функції	-	-	Можливість роботи з виносним GPS	Вбудований GPS, Wi-Fi, Bluetooth, NFC.

Аналіз знімальних робіт з використанням цифрових камер, показав перспективність цього напрямку підвищення ефективності маркшейдерському забезпеченні гірничих робіт. За результатами аналізу встановлено, що для виконання фотограмметричного знімання можуть використовуватися камери: Canon EOS 90D з кроп-фактором 1,6 та 32,5 мегапіксельною матрицею (модель 2019 року); Canon EOS-1D X Mark III з 20,1 мегапіксельною матрицею та з 191 зоною фокусування; Canon EOS 5D Mark IV з 31,7 мегапіксельною матрицею, яка здатна значно підвищити детальність знімків. Але проблеми якості знімків гірничих виробок, отриманими вище наведеними камери, до кінця не вирішені. На сьогодні фірми Canon, Sony та інші випускають і бездзеркальні цифрові камери з вищою кількістю пікселів: Canon EOS R5 (47,1 мегапікселів), Nikon Z7 (46,9 мегапікселів).

Внаслідок відпрацювання покладу залізистих руд «Південно-магнетитова» шахтою ім. Колачевського, на земній поверхні утворюється мульда зсуву, з'являються зони тріщин та терас, проваль та вирв. Вимоги до виконання спостережень регламентуються відповідними докумен-

тами [8] та [9,10], які ґрунтуються на багаторічному досвіді інструментальних спостережень за деформаціями земної поверхні та дослідження мультиспіввідносності зсуву і критичних деформацій.

Маркшейдерська служба гірничодобувного підприємства здійснює постійний моніторинг деформацій, яких зазнає земна поверхня та споруди, розташовані на ній, і які спричинені підземними гірничими роботами. На теперішній час спеціалісти комбінату мають можливість досліджувати такі ділянки за допомогою растрових зображень, отриманих за результатами аерофотознімання (рис. 2).

За растровими зображеннями можна виявити зміни, які відбулися за проміжок часу між аерозніманнями (рис. 2), але для отримання метричних характеристик деформаційних процесів необхідно виконати фотограмметричне опрацювання цих зображень.

Відомо, що знімання карт ерів, відвалів та промислових майданів методом сканування не має широкого застосування через високі ціни на обладнання та складність організації робіт, а більш поширеними є наземне стереознімання та з використанням БПЛА. Фотограмметрична обробка отриманих при цьому знімків може здійснюватися за допомогою вітчизняних чи зарубіжних програм. Відповідно до договору з ПрАТ «ЦГЗК», було отримано знімки на зону зрушень за допомогою безпілотного літального апарату, та виконане їх фотограмметричне опрацювання.

Виконані дослідження дозволяють отримати достатньо повну інформацію про розвиток процесу деформацій в зонах терас та вирв, та про стан утворених пустот (ведення кадастру пустот).

Шахтою у 2021-2022 рр. виконані роботи з видобутку руди на поверхсі гор.527/447м, виконанні гірничопідготовчі роботи та проходка нарізних виробок на поверххах гор.607/527м та гор.527/447м.



Рис. 2. Растрові зображення досліджуваної ділянки

Гірничі роботи з видобутку магнетитових кварцитів велися у блоках: (-19)÷(-26) вісі, (-26)÷(-34) вісі, (-32)÷(-40) вісі, та (-46)÷(-53) вісі висячого боку. Готуються до очисного виймання запаси блоку (-46)÷(-53) вісі в/б у поверхсі гор.527/387м. Планом розвитку гірничих робіт шахти ім. Колачевського на 2021-2022 рр. було передбачено відпрацювання 10 елементів блоків покладу «Південний-Магнетитовий». При цьому, з часом відбувається заповнення відпрацьованого простору за рахунок обриву, прогину порід висячого боку.

Для дослідження стану ділянки (рис. 2) була виконана аерофотозйомка за допомогою БПЛА ПрАТ «ЦГЗК» з наступною її обробкою фахівцями КНУ. Також кафедрою маркшейдерії КНУ виконана наземна стереозйомка цієї ділянки території шахти ім. Колачевського, за результатами опрацювання якої отримані характеристики деформаційних процесів в зоні вирв, що дозволяє контролювати процес заповнення пустот та визначати їх об'єми з врахуванням коефіцієнту розпушення [8,9].

Для наочності, дані про стан досліджуваної поверхні, були представлені різними кольорами. На рис. 3 наведені результати дослідження стану поверхні за результатами обробки матеріалів аерознімання, переданих ПрАТ «ЦГЗК» спеціалістам КНУ. На рис. 4 наведено характерис-

тику поверхні, отриману за результатами наземного знімання. При виконанні цих робіт для прив'язки знімків було використано GPS, а для зйомки 24-мегапіксельна камера. Зйомка виконана з віддалення 600-700 метрів.

Слід підкреслити, що суворе фотограмметричне опрацювання знімків, отаманих за результатами як аеро- та наземного знімання, дозволяє суттєво підвищити точність шуканих даних, які дозволяють планувати та уточнювати розміщення на земній поверхні профільних ліній та додаткових реперів, а також визначати величини деформацій, які зазнає поверхня. Наприклад, зафіксоване положення репера та зображене відповідним кольором (5/7, профільної лінії 2) може свідчити про можливі деформації денної поверхні у майбутньому.

Запропонована методика моніторингу денної поверхні була досліджена на таких об'єктах, як територія шахті ім. Колачевського та південний борт кар'єру № 4 ПрАТ «ЦГЗК». Впровадження методики здійснено в рамках договору на виконання НДР з ПрАТ «ЦГЗК».

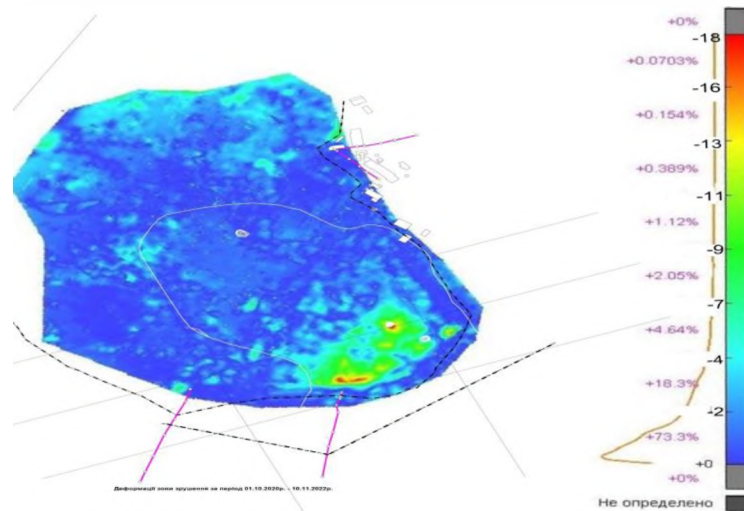


Рис. 3. Результати дослідження стану поверхні за результатами обробки матеріалів аерознімання

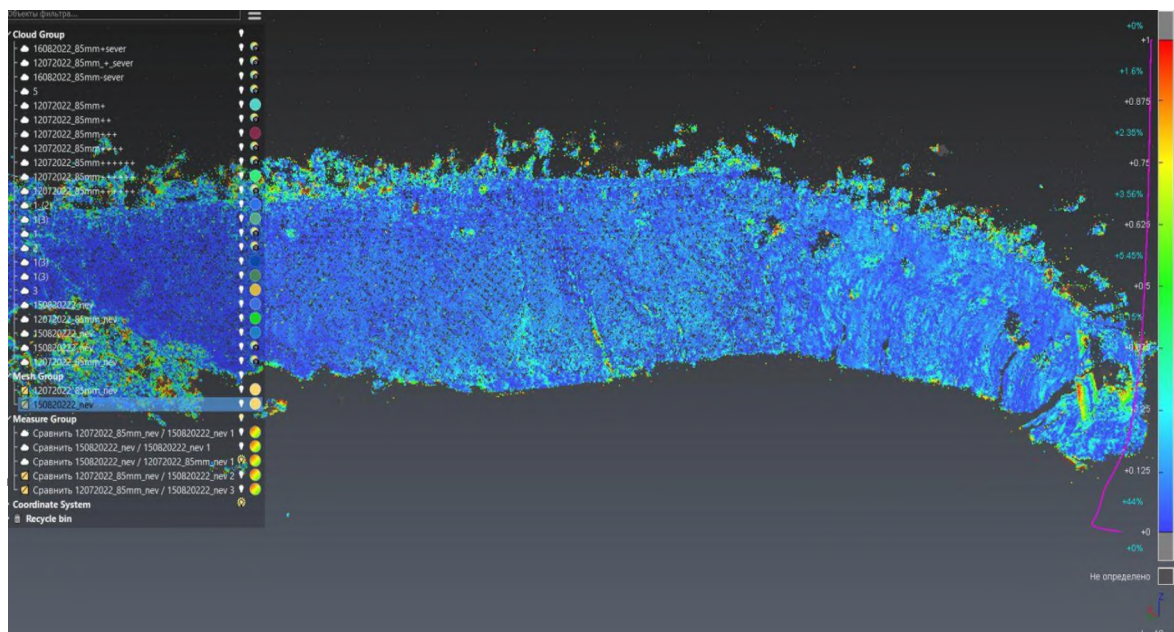


Рис. 4. Характеристика поверхні, отримана за результатами наземного знімання

**Висновки та напрям подальших досліджень.** Дослідження способів спостереження за зсувними процесами направлені на їх удосконалення та підвищення ефективності робіт зі своєчасного прийняття засобів з охорони навколишнього середовища та розробки достовірного прогнозу подальшого стану досліджуваних об'єктів, на стан яких впливають гірничі роботи. При цьому, одним з важливих напрямків є удосконалення зйомочних робіт, які, з огляду на ха-

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](https://doi.org/10.33271/mining13.03.040). 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., Iezov K., Maletskii N. The [use](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128008009) of the construction with a digital camera and GPS receiver [while researching](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128008009) 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. Л.ВНИМИ, 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-