

С.І. ЧЕБЕРЯЧКО, д-р техн. наук, проф., Ю.І. ЧЕБЕРЯЧКО,
О.В. ДЕРЮГІН, кандидати техн. наук, доценти, І.М. КНИШ, асп.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
О.В. ПИЩИКОВА, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАПАННИХ СИСТЕМ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ

Мета. Удосконалення конструкції клапанних вузлів для фільтрувальних респіраторів з високим ступенем герметичності.

Методи дослідження. У роботі використано метод традиційного принципу 3D моделювання клапану видихання, а для перевірки герметичності було застосовано удосконалений метод випробувань у відповідності до стандарту ДСТУ EN 149:2017 "Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001+A1:2009, IDT)".

Наукова новизна. Встановлено, що на час спрацювання клапану видихання при зміні перепаду тиску впливає не тільки еластичність та товщина матеріалу з якого виготовлений клапан, але і конструкція його сідловини, за рахунок збільшення площі прилягання клапану до поверхні сідловини.

Практична значимість полягає у розробці удосконалених моделей клапанних вузлів фільтрувальних респіраторів, які характеризуються незначним часом спрацювання при зміні перепаду тиску та коефіцієнтом підсмоктування, запропонована нова конструкція сідловини з додатковим кільцем для підвищення їх герметичності.

Результати. Проведений аналіз сучасних конструкцій клапанних вузлів фільтрувальних респіраторів, дозволив визначити їх основний недолік, який стосується погіршення герметичності при потрапленні бруду на поверхню сідловини, що призводить до збільшення часу спрацювання клапану при зміні перепаду тиску у процесі дихання. Розроблена удосконалена конструкція клапанного вузла фільтрувального респіратора, яка забезпечує високу герметичність навіть при потрапленні бруду на поверхню сідловини, за рахунок збільшення площі прилягання через введення додаткового кільця та виконання країв сідловини клапану скошеними для зменшення накопичення на їх поверхні пилових частинок. На підставі даних лабораторних випробувань дослідних зразків встановлено, що перепад тиску таких клапанів не збільшився у порівнянні з існуючими конструкціями, а коефіцієнт підсмоктування складає не більше 0,03 %, що дозволяє забезпечити досить високий коефіцієнт захисту фільтрувальних респіраторів.

Ключові слова: клапанний вузол, респіратор, коефіцієнт підсмоктування, коефіцієнт захисту, герметичність.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-25-30

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Сучасні фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) складаються з лицевої частини, фільтрувальних коробок з фільтрами, елементів кріплення (наголів'я) та клапанів вдихання і видихання. Один з важливих показників фільтрувальних ЗІЗОД - опір повітряного потоку, який проходить через клапан вдиху/видиху. Від його рівня залежить ефективність захисної дії фільтрувального ЗІЗОД та працездатність користувача, що є визначальним, як для вибору ЗІЗОД для відповідних умов експлуатації, так і оцінки їх захисної ефективності.

Кількість останніх та місце їх розташування задається конструкцією фільтрувального ЗІЗОД з метою забезпечення найкращих захисних та ергономічних показників для користувачів. Однак вказані властивості через недосконалості конструкції клапанних вузлів, які пов'язані з використанням неякісних матеріалів, або незабезпечення герметичності контактуючих елементів клапану можуть призвести до погіршення як ергономічних так і захисних властивостей ЗІЗОД. Тому виготовлення досконалих конструкцій клапанних систем – є досить актуальною задачею, яка дозволить покращити якість захисних властивостей фільтрувальних ЗІЗОД.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш поширена конструкція клапану вдихання – диск (рис. 1) певної товщини і діаметру, який розміщено у спеціальній сідловині (рис. 2) на спеціальному циліндричному виступі [3]. При чому фіксація клапана відбувається, за рахунок насадження на цей виступ спеціальної насадки, яка одночасно виконує захисну функцію. Основні розміри клапанів кожний виробник ЗІЗОД визначає за своїми стандартами. Однак здебільшого їх товщина коливається у діапазоні від 0,6 мм до 1 мм, а діаметр (D) – від 27 мм до 32 мм [4].

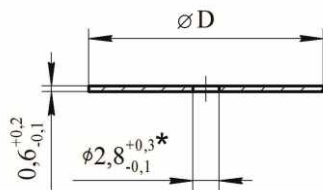


Рис. 1. Конструкція клапану вдихання [4]

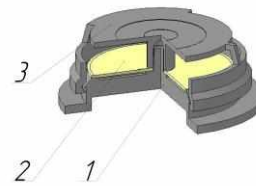


Рис. 2. Сідловина клапану: 1 – сідловина; 2 – клапан вдихання; 3 – захисний екран

Така конструкція КВ за певних обставин (довжини кріпильного виступу, збільшення кріпильного отвору через зношення, деформації диска) може сприяти низькій герметичності самої конструкції, через появу інерційності спрацювання клапану під час процесу вдихання/видихання та утворення додаткових каналів підсмоктування нефільтрованого повітря [5]. Тому одні виробники ЗІЗОД у пошуку вирішення даної задачі для зменшення деформації та інерційності збільшили кількість кріпильних елементів клапану (рис. 3). Інші – дещо змінили конструкцію, виготовляючи клапан у формі «грибка» з однією (рис. 4) або з різною товщиною й площею клапана, що відображається у формі «сходів» (рис. 5) та зберігає еластичність матеріалу і одночасно підвищує жорсткість для зменшення деформації й інерційності спрацювання. Причому, дехто додає по контуру сідловин спеціальний виступ який покращує герметичність [6].

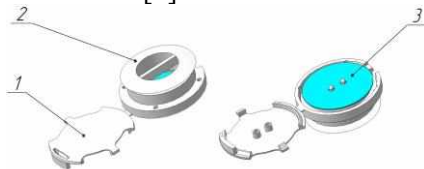


Рис. 3. КВ видиху: 1 – корпус КВ видиху; 2 – сідловина; 3 – клапан [7]

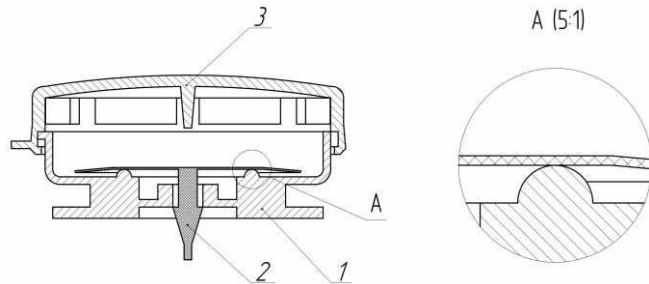


Рис. 4. КВ видиху фільтрувального респіратора "Dräger X-Plore 2100": 1 – сідловина; 2 – клапан; 3 – захисний екран

Деякі виробники фільтрувальних респіраторів зовсім відмовились від дискової форми: змінили на прямокутну. При цьому утримання клапану в монтажному отворі з одного боку домоглись ультразвуковим зварюванням [8] (рис. 6).

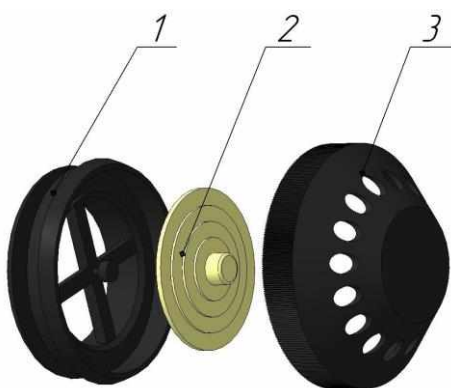


Рис. 5. КВ видиху респіратора "Shieng Bao AN2004B": 1 - сідловина; 2 - клапан; 3 - захисний екран

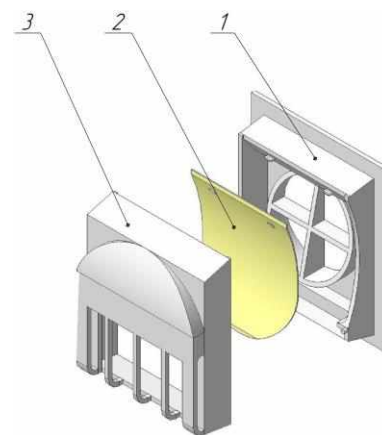


Рис. 6. КВ респіратора 3М 9312 FFP1 "Преміум": 1 – корпус; 2 – клапан видиху; 3 – захисний екран [9]

Постановка задачі – удосконалення конструкції КВ для фільтрувальних респіраторів з високим ступнем герметичності.

Викладення матеріалу та результати. Для розробки конструкції клапану видихання були використане традиційний принцип 3D моделювання, який полягав у творчій розробці ескізу (Sketch modeling), поверхневому проектуванні контурів клапану (Surface modeling) та розробці

кінцевого проекту клапану (Solid modeling). Перевірку герметичності запропонованих конструкцій клапанів проводили за удосконаленим методом випробувань у відповідності до стандарту ДСТУ EN 149:2017 "Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування" (EN 149:2001+A1:2009, IDT) [10], який дозволяє визначити коефіцієнт підсмоктування під час їх спрацьовування. Схема установки надана на рис. 7 [11]. Основними її елементами є камера з аерозолем NaCl, дихальна машина, аспіратор, фільтр респіратора та вимірювальні пристрої: перепад тиску визначається за електронним мікроманометром "Testo 512", а коефіцієнт підсмоктування - за спектрофотометром "Selmi C-115E".

Для моделювання роботи клапану у відповідності до динамічної перевірки, насадка клапану встановлюється у випробувальній камері та приєднується до циліндричної алюмінієвої труби, що імітує підмаскову порожнину. Остання, в свою чергу, з'єднується з дихальною машиною та з фільтром респіратора. Всмоктування чистого повітря відбувається крізь фільтр, а його викидання – відбувається через клапан у камеру з аерозолем. Саме під час його закривання, коли дихальна машина робить зворотній хід, аерозоль може потрапити до алюмінієвої трубки. Проби аерозолі з камери та алюмінієвої трубки відбираються аспіратором та подаються до спектрофотометра. Значення коефіцієнта підсмоктування аерозолі розраховується за формулою [10]

$$K = \frac{I_2 - I_0}{I_1 - I_0}, \quad (1)$$

де I_2 – показник фотометра після фільтрування; I_1 – показник фотометра до фільтрування; I_0 – фонові показники фотометра.

Концентрацію тест-аерозолі (хлорид натрію) у камері і підмасковому просторі фільтрувального респіратора визначали за допомогою спектрофотометру "Selmi C-115E". У випробувальній камері вона складала 8...10 мг/м³. Розподіл частинок знаходився у межах від 0,02 до 2 мкм при середньомасовому діаметрі близько 0,6 мкм.

Обробку результатів вимірів проводили із застосуванням стандартного пакету програм Microsoft Office Excel 2010. Отримані дані мали нормальний закон розподілу ймовірностей і для їх аналізу використовували, параметричні критерії Стюдента і Фішера. Кількість спостережень за одним показником складала від 15 до 20 значень. Для порівняння середніх величин кількісних показників при нормальному розподіленні признаку використовували t-критерій Стюдента. Достовірним вважали рівень значущості $p < 0,05$ з надійністю 95%.

Враховуючи переваги і недоліки наведених конструкцій КВ була запропонована нова оригінальна конструкція, яка складається із сідловини, захисного екрану та дискового клапану, краї якого виконанні у вигляді усіченого конуса, що покращує захищеність від потрапляння на сідловину під клапан різного бруду, який погіршує герметичність КВ. Клапан фіксується центровим отвором на виступі патрубку та притискується захисним екраном, який забезпечує щільне притискання середини у монтажному отворі (рис. 8). Це дозволить покращити спрацьовування клапану у випадку потрапляння бруду, який буде поступово видалятися скочуючись по похилій поверхні.

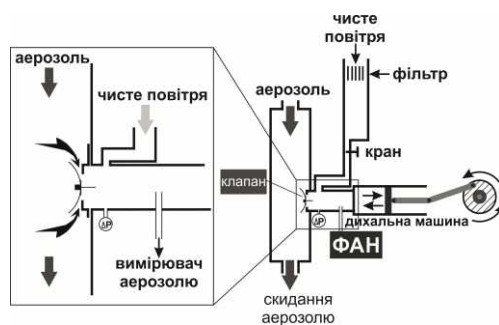


Рис. 7. Схема експериментальної установки для визначення коефіцієнта підсмоктування крізь клапан видиху

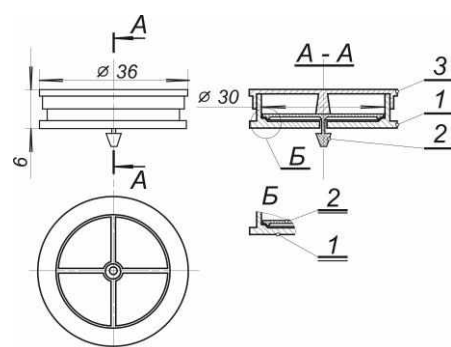


Рис. 8. КВ видиху: 1 – сідловина; 2 – клапан; 3 – захисний екран

Для більш жорстких умов експлуатації (агресивне середовище, значне навантаження, збільшена вентиляція) пропонується дисковий клапан вдиху складної форми із загнутим краєм під кутом 20° (рис. 9), що покращить герметичність, за рахунок збільшення пружності конструкції і дозволить зменшити час спрацювання під час зміни напрямку руху. КВ включає сідловину, захисний екран, клапан, який фіксується центровим отвором на виступі патрубку та притискується захисним екраном. З'єднання КВ у єдину конструкцію забезпечується за допомогою завальцьовування. Крім того, передбачене додаткове кільце на сідловині клапанної системи для зменшення часу спрацювання клапану з одного боку, а з іншого покращити герметичність навіть при забрудненні його сідловини.

Для виготовлення КВ було використано спеціальний матеріал - полівінілхлорид (ПВХ). Він являє собою синтетичний термопластичний полярний полімер Основні фізико-хімічні властивості якого представлені в табл. 1 [12].

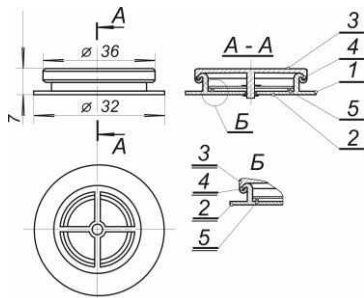


Рис. 9. КВ вдиху: 1 – сідловина; 2 – пелюсток вдиху; 3 – захисний екран; 4 - ущільнювальне кільце; 5 - ущільнювальне кільце

Таблиця 1

Основні фізико-хімічні властивості ПВХ [12]

Молекулярна маса, а.о.м.	40000-145000
Температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$	624
Температура розкладання, $^{\circ}\text{C}$	100-140
Температура скловання, $^{\circ}\text{C}$	70-80
Щільність, г/см^3	1,34-1,34
Насипна щільність, г/см^3	0,4-0,7

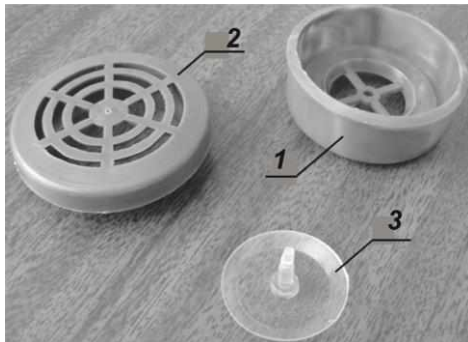


Рис. 10. КВ до респіраторів

Вигляд виготовлених клапанів наведено на рис. 10.

Результати випробувань клапану видихання стосовно зміни перепаду тиску при витраті повітря $30 \text{ дм}^3/\text{хв}$. під час імітації процесу вдихання – видихання наведено на рис. 11. На рис. 12 показано зміну коефіцієнта підсмоктування тест-аерозолію під час спрацювання клапану під час зміни перепаду тиску у підмасковому просторі фільтрувального респілятора.

Результати дослідження показали, що найбільше значення підсмоктування нефільтрованого повітря фіксувалось саме тоді, коли клапан закривався, під дією розрідження, яке створюється зворотнім ходом дихальної машини. Зрозуміло, що швидше клапан реагує на

зміну перепаду тиску, тим менше потрапляє аерозолію в підклапанний простір. Проведенні дослідження показують, що на швидкість спрацювання клапану впливає як товщина клапану (рис. 13), так і конструкція сідловини. Так герметичність клапану з додатковим кільцем на сідловині (рис. 9), значно краща у порівнянні з іншою конструкцією (рис. 14).

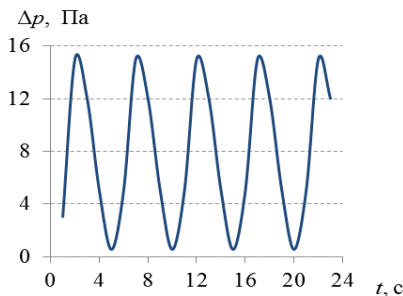


Рис. 11. Зміна в часі (t) перепаду тиску (Δp) на клапані видиху

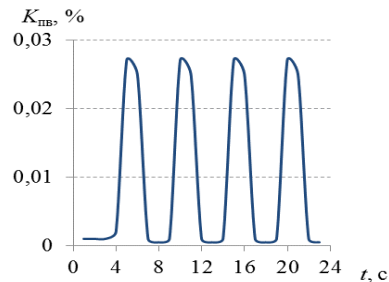


Рис. 12. Зміна в часі (t) коефіцієнта підсмоктування ($K_{пв}$) на клапані видиху

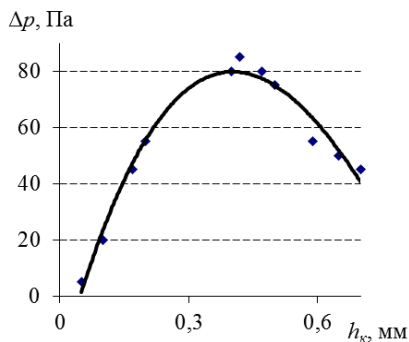


Рис. 13. Залежність вакуум-метричного тиску (Δp) під дисковим клапаном від його товщини (h_k)

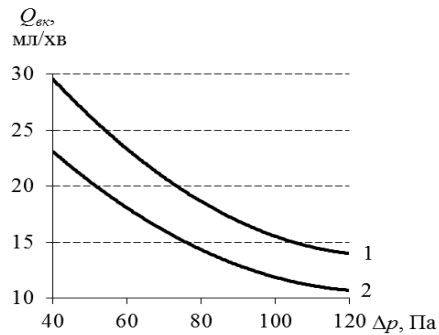


Рис. 14. Залежність величини підсмоктування повітря ($Q_{вк}$) через клапан видиху від вакууметричного тиску (Δp): 1 - тип 1; 2 - тип 2

На підставі аналізу даних наведених у обзорі існуючих конструкцій клапанних систем до фільтрувального респіратора, показано, що вузли КВ вдиху і видиху є найважливішими конструктивними елементами ЗІЗОД, від якості яких залежать їх експлуатаційні властивості - захисна ефективність та показники ергономічності і надійності фільтрувальних респіраторів. Саме від часу спрацювання клапану видихання залежить коефіцієнт підсмоктування півмаски і коефіцієнт захисту фільтрувального респіратора в цілому. Як видно з проведених досліджень на основний параметр КВ – герметичність впливає не тільки їх товщина, еластичність, жорсткість самого матеріалу, що доведено різними проведеними дослідженнями [13-15], а й безпосередньо конструкція сідловини. В даному випадку поява додаткового ущільнювального кільця дозволило зменшити підсмоктування повітря через клапан, через збільшення площі прилягання клапану. Це дозволяє говорити про досить значну практичність даної конструкції КВ, особливо при роботі у значному запыленні, коли під клапан може потрапляти різний бруд, чим погіршити герметичність прилягання контактуючих елементів. Втім, проведені дослідження не розкривають низку питань стосовно впливу розміру самого КВ, особливостей його закріплення на сідловині, що планується розглянути у подальших дослідженнях.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведений аналіз сучасних конструкцій КВ, дозволив визначити їх основний недолік, який стосується погіршення герметичності при потрапленні бруду на сідловині, що призводить до збільшення і часу спрацювання клапану при зміні перепаду тиску у процесі дихання працівника. Розроблена удосконалена конструкція КВ, яка забезпечує високу герметичність навіть при потрапленні бруду на сідловину, за рахунок збільшення площі прилягання через введення додаткового кільця та виконання країв сідловини клапану скошеними для зменшення накопичення на них пилових частинок.

На підставі даних лабораторних випробувань дослідних зразків КВ встановлено, що перепад тиску таких клапанів не збільшився у порівнянні з існуючими системами, а коефіцієнт підсмоктування складає не більше 0,03 %, що дозволяє забезпечити досить високий коефіцієнт захисту фільтрувальних респіраторів.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропоновано ефективна конструкція КВ фільтрувальних респіраторів, які характеризується незначним часом спрацювання при зміні перепаду тиску та коефіцієнтом підсмоктування.

Перспективою подальших розробок є створення нових ефективних конструкцій ЗІЗОД, які спрямовані на захист фізіологічного стану здоров'я працівників під час виконання виробничої діяльності.

Список літератури

1. Путовой, Н.В., Федосеева, Г.Б. Руководство по пульмонологии. Л.: Медицина, 1984. 456 с.
2. Басманов, П.И., Каминский, С.Л., Коробейник, А.В., Трубицына, М.Е. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. СПб, ГИИП Искусство России, 2002. 400 с.
3. Каминский, С.Л. Методика оценки вредного пространства противопылевых респираторов. Сб. науч. работ ин-тов охр. труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1965. №1(33). С. 69-73.
4. Патент 2171124 РФ, МПК А62В23/02, А62В19/02. Фильтрующий портативный самоспасатель. / Афанасьева Т.С.; Волосевич Б.А.; Дворецкий Г.В.; Димкович Н.Т.; Каменер Е.А.; Кравченко А.З.; Мартынов О.П.; Рабатуев

Г.А.; Чебыкин В.В; заявитель ГУП "Электростальское научно-производственное объединение "Неорганика"" – № 2000117608/12; заявл. 03.07.2000; опубл. 27.07.2001; Бюл. № 19.

5. **Yu-Mei, K., Chane-Yu, L., Chih-Chieh, C., Bo-Hong, L., Sheng-Hsiu, H., Chun-Wan, C.** Evaluation of exhalation valves. The Annals of occupational hygiene, 2005, 49(7), 563-568.

6. **Burton, D.A., Stokes, K., M Hall, G.** Physiological effects of exercise. Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain, 2004, 4(6), 185-188.

7. **Chen, F.-L., Horng, T.-L., Shih, T.-C.** Simulation analysis of airflow alteration in the trachea following the vascular ring surgery based on CT images using the computational fluid dynamics method. Journal of X-Ray Science and Technology, 2014, 22(2), 213-225.

8. **Mellor, D.J., Beausoleil, N.J.** Equine Welfare during Exercise: An Evaluation of Breathing, Breathlessness and Bridles. Animals, 2017, 7(6), 41.

9. Патент 2515535 РФ, МПК а62b9/02, Однонаправленные клапаны и фильтрующие лицевые маски, содержащие однонаправленные клапаны. / Ксюэ Т.Дж. (US), Домроезе М.К. (US), Мартин Ф.Г. (US), Абел Н.А. (US); заявитель ЗМ ИННОВЕЙТИВ ПРОПЕРТИЗ КОМПАНИ (US) – № 2012117971/12; заявл. 06.12.2010; опубл. 27.01.2014; Бюл. №3

10. ДСТУ EN 149:2017 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001+A1:2009, IDT). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=75012.

11. **US OSHA Standard 29 CFR 1910.134** "Respiratory Protection", Режим доступу: <https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/1994-05-25>.

12. **Клинов, И.Я., Левин, А.Н.** Пластмассы в химическом машиностроении. М.: ГНТИМашлит, 1963. С. 104-113.

13. **Каминский, С.Л.** Спироэргометические исследования влияния на человека внешнего сопротивления дыханию. Сб. науч. работ ин-тов охр. труда ВЦСПС. М.: Профиздат. 1974. №92. С. 44-48.

14. **Brosseau, L.M.** Aerosol penetration behavior of respirator valves. American Industrial Hygiene Association journal, 1998, 59, 173-180.

15. **Campbell, D.L., Alender, J.R., Myers, W.R.** Respirator performance as a function of inhalation valve efficacy. Journal of the International Society for Respiratory Protection, 1990, 8(1), 26-32

Рукопис подано до редакції 17.03.2021

УДК 622:271

М.М. ПИЖИК, А.М. ПИЖИК, кандидати техн.наук, доценти,
І.О. ПАШКОВА, асист., Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ РОБІТ, ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ГРАНИЦЬ КАР'ЄРУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ

Мета. Метою даної роботи є дослідження та розробка нового критерію з обґрунтування та вибору оптимального варіанту режиму гірничих робіт в умовах залізрудних кар'єрів при експлуатації та комплексній розробці родовищ корисних копалин, удосконалення методики оптимізації головних параметрів кар'єрів, їх граничних контурів, режиму гірничих робіт та виробничої потужності з корисних копалин та розкривних порід.

Методи дослідження. В роботі використані наступні методи досліджень: аналіз літературних джерел з проектування головних параметрів кар'єрів, графо-аналітичні методи з визначення варіантів розробки та методи лінійного програмування (метод гілок та меж).

Наукова новизна. Розроблено новий критерій оцінки режиму гірничих робіт, який дозволяє при оптимізації головних параметрів кар'єрів враховувати їх взаємозв'язок. Останнє суттєво змінює алгоритм визначення головних параметрів кар'єрів: відповідно контурів черги розробки за об'ємами промислових запасів та попиту на корисну копалину визначається продуктивність кар'єру за економічними умовами, після чого обирається режим гірничих робіт, який у максимальному ступені забезпечує динаміку відповідних сортів руд та розкривних порід.

Практична значимість. Отримані наукові результати обумовлені удосконаленням методики проектування режиму гірничих робіт та продуктивності кар'єрів при їх оптимізації. Запропонований новий критерій оптимізації границь кар'єру, режиму гірничих робіт та його виробничої потужності з технологічних сортів корисної копалини та розкривних порід може бути рекомендованим до включення проектними організаціями до нормативно-правових документів з проектування гірничо-видобувних підприємств з відкритим способом розробки.

Результати. На підставі виконаного аналізу сучасних розрахункових принципів та методів визначення головних параметрів кар'єру розроблено новий критерій оцінки варіантів розробки та змінено порядок визначення головних параметрів кар'єрів при їх проектуванні. Висока якість проектування головних параметрів кар'єрів за умов використання запропонованої методики їх визначення та високої культури ведення гірничих робіт дозволить суттєво підвищити збіжність результатів, що позитивним чином вплине на техніко-економічні показники гірничого виробництва.