

УДК 622.451.001.24

**В.О. Трофимов**, канд. техн. наук, доцент,  
**О.Л. Кавсра**, канд. техн. наук, доцент  
(ДонНТУ)

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕВЕРСИВНОГО РЕЖИМУ ВЕНТИЛЯЦІЇ ШАХТИ**

**В.А. Трофимов**, канд. техн. наук, доцент,  
**А.Л. Кавера**, канд. техн. наук, доцент  
(ДонНТУ)

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕВЕРСИВНОГО РЕЖИМА ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТЫ**

**V.A. Trofimov**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,  
**A.L. Kavera**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(DonNTU)

## **COMPUTER SIMULATION REVERSE MODE MINE VENTILATION**

**Анотація.** Стаття присвячена новій методиці комп'ютерного моделювання реверсивного режиму вентиляції на вугільних шахтах України. Розглянуто умови та складності використання реверсивного режиму вентиляції при виникненні пожежі. Запропоновано декілька сценаріїв комп'ютерного моделювання цього аварійного вентиляційного режиму за допомогою фахового програмного забезпечення. Сценарії передбачають використання різних ступенів складності моделювання та різне інформаційне забезпечення. Важливою є також фахова оцінка результатів моделювання і визначення наступного кроку у сценарії. При складанні сценаріїв моделювання для умов певної шахти слід співвідносити дії у реальному часі і їх аналогії в комп'ютерній програмі. Моделювання пожежі в реверсивному режимі вентиляції дозволяє оцінювати стійкість потоків повітря у похилих виробках і передбачати дії, які забезпечують безпеку шахтарів на шахтах України.

**Ключові слова:** вугільна шахта, реверсивний режим вентиляції, комп'ютерне моделювання, сценарій моделювання, моделювання пожежі, гірничі виробки

### **Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами**

У планах ліквідації аварій на вугільних шахтах України, при виникненні пожеж в стволах зі свіжим повітрям та в гірничих виробках, розташованих поряд з тими стволами, передбачають реверсування вентиляції шахти. Ця дія запобігає розповсюдженню пожежних газів по мережі гірничих виробок і рятує шахтарів від отруєння. Реверсування вентиляції шахти передбачають в планах ліквідації аварії на усіх шахтах і двічі на рік перевіряють його ефективність. Правила безпеки містять певні кількісні і якісні показники, які визначають вимоги до цього аварійного вентиляційного режиму. Так, після зміни напрямку руху повітря в шахтних стволах, така ж зміна повинна відбутися в усіх гірничих виробках шахти. Окрім того, витрати повітря в гірничих виробках при реверсуванні вентиляції шахти повинні складати не менше ніж 60% від нормальних витрат.

На сучасних шахтах України зона реверсування містить похилі виробки. Для цих виробок перевірка стійкості вентиляційних потоків не передбачається ні в нормальному ні в реверсивному режимах вентиляції. При цьому не звертають увагу на те, що після реверсування вентиляції виникає загроза порушення стійкості вентиляційних потоків у виробках розташованих поряд з аварійною. Іншими словами, при пожежі у виробці з низхідним потоком повітря і подальшим реверсуванням, дія теплової депресії пожежі може призвести до перекидання вентиляційних потоків в паралельних виробках. Виникає загроза формування контурів рециркуляції пожежних газів в реверсивному режимі вентиляції. Найбільша небезпека може виникнути на шахтах з бремсберговими полями. Тут, після реверсування вентиляції напрямок руху повітря в похилих виробках з вогнищем пожежі (в зоні реверсування) змінюється з висхідного на низхідне. В похилій виробці (частині похилої виробки) можливе перекидання потоку повітря внаслідок збільшення теплової депресії пожежі під час дії реверсивного режиму вентиляції.

Аналіз планових перевірок реверсивного режиму вентиляції і досвід ліквідації аварії свідчать, що після виникнення аварії умови рятування людей можуть значно погіршитися. Це пов'язано з можливістю порушення стійкості вентиляційних потоків при пожежах у похилих виробках або порушенням стійкості вентиляційних потоків внаслідок перерозподілу депресії окремих вентиляторів. В той же час, оцінка стійкості вентиляції похилих виробок при пожежі після реверсування вентиляції не передбачена Правилами безпеки чи Статутом ДГВРС України. На цей час в Україні не існує офіційно діючої методики моделювання реверсивного режиму вентиляції за допомогою комп'ютерних програм.

### **Постановка задачі**

Мета роботи: розробка методичного забезпечення для моделювання реверсивного режиму вентиляції на вугільних шахтах за допомогою комп'ютерних програм.

Для досягнення поставленої мети було розроблено сценарії моделювання реверсивного режиму вентиляції за допомогою існуючих комп'ютерних програм. В умовах реальної шахти сценарії можуть відрізнитися наявністю чи відсутністю відповідної бази даних. Ці дані описують можливі чи фактичні зміни аеродинамічних параметрів гірничих виробок після реверсування вентиляції.

Для моделювання вентиляційної мережі і реверсивного режиму вентиляції використовувався програмний комплекс «IRS Вентиляція шахт – ЕПЛА».

При складанні сценарію комп'ютерного моделювання загального режиму вентиляції слід виходити з того, що передбачити режим вентиляції усіх гірничих виробок неможливо. Втім, можна скласти певний перелік варіантів моделювання з максимальною чи нормованою дією аварійних чинників [1]. Виходячи з цього можливі наступні сценарії моделювання реверсивного режиму вентиляції шахти [2]:

- максимальне забезпечення виробок витратами повітря (витрати повітря в реверсивному режимі дорівнюють витратам у нормальному режимі);
- нормоване забезпечення гірничих виробок витратами повітря (60 % від нормального);
- моделювання нормованої зміни аеродинамічних опорів вентиляційних споруд і вентиляційних каналів, моделювання дії природної тяги в контурах вертикальних і похилих гірничих виробок;
- моделювання опорів вентиляційних споруд і каналів по результатах фактичних вимірів в умовах шахти, моделювання дії природної тяги в контурах вертикальних і похилих гірничих виробок.

### **Послідовність дій при виконанні сценаріїв моделювання**

В програмному комплексі «IRS Вентиляція шахт – ЕПЛА» для моделювання реверсивного режиму з максимальними витратами повітря потрібно на екрані монітору намалювати гілку, яка моделює роботу вентилятора у реверсивному режимі (моделювання режиму нагнітання повітря). Потім вибрати робочу характеристику цього вентилятора і визначити його режим роботи на мережу (рис. 1). Перед «включенням» резервного вентилятора в роботу слід передбачити моделювання «зупинки» робочого вентилятора головного провітрювання. Для цього у вікні гілки, яка моделює зупинений вентилятор треба зменшити додаткову депресію до нуля (рис. 2), а опір зупиненого вентилятора підвищити до 999 кц (якщо невідомий фактичний опір зупиненого вентилятора).

Це дозволяє відтворити перший сценарій моделювання реверсивного режиму вентиляції – зміна напрямку руху повітря без зміни витрат повітря.

В реальних умовах для реверсування вентиляції шахти необхідно увімкнути декілька лебідок для пересування металевих дверей (ляд), зупинити діючий(-чі) вентилятор(-и) головного провітрювання і увімкнути резервний вентилятор(-ри).

Дії, передбачені в першому сценарії, складають початкову частину усіх інших сценаріїв.

В другому сценарії, після встановлення реверсивної моделі вентилятора головного провітрювання, моделюємо нормовані витрати повітря (60 %) в усій мережі без зміни опорів вентиляційних споруд. Для цього достатньо зменшити додаткову депресію в гілці яка моделює вентилятор в 2,77 рази (рис. 3).

Головна ідея такого сценарію полягає в тім, що якщо при «нормальних» (до реверсування вентиляції) опорах вентиляційних споруд не буде забезпечена стійкість вентиляційних потоків при пожежах, то звісно, що вона не буде забезпечена після зменшення опорів усіх вентиляційних споруд в реверсивному режимі. Таким чином, ми уникаємо необхідності виконувати велику кількість вимірів і розрахунків аеродинамічних параметрів вентиляційних споруд в реверсивному режимі. Іншими словами, використання цього сценарію моделювання значно зменшує витрати на його виконання.

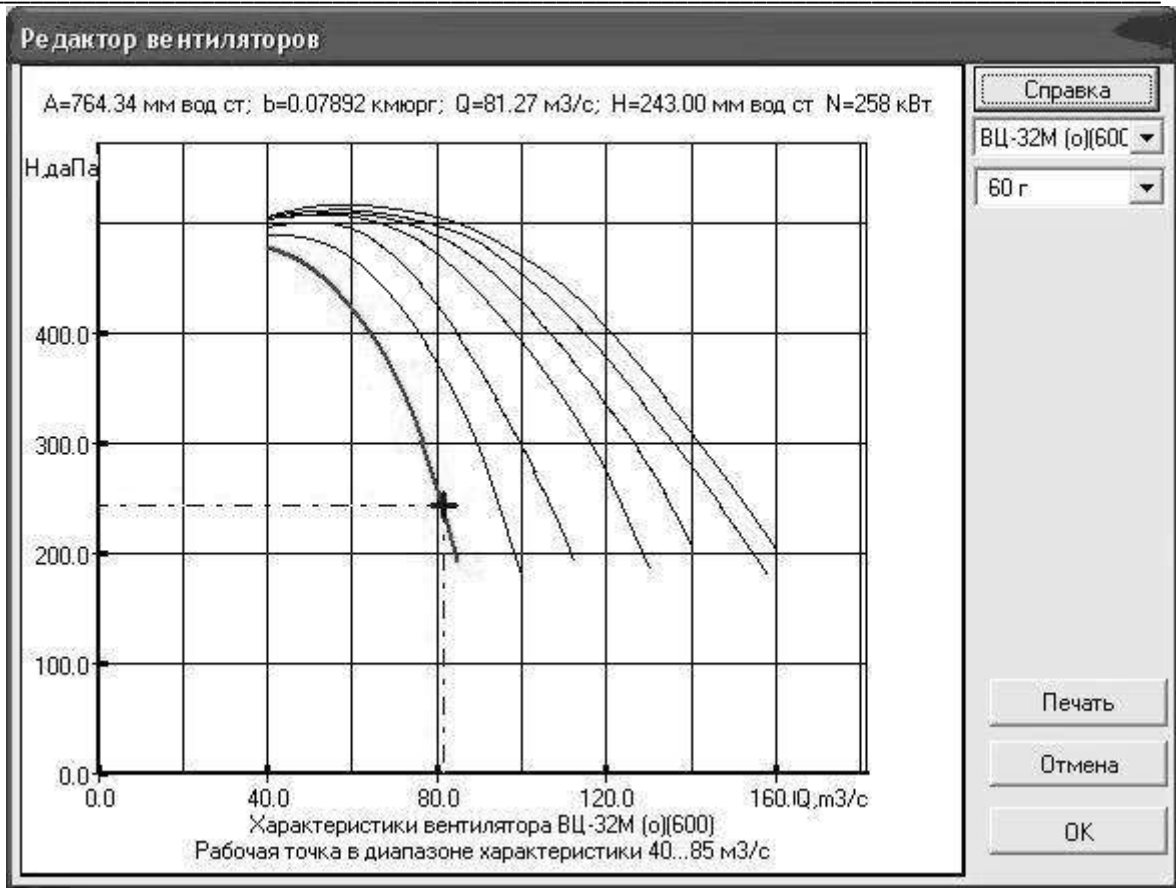


Рисунок 1 – Вікно комп’ютерної програми з характеристиками вентилятора

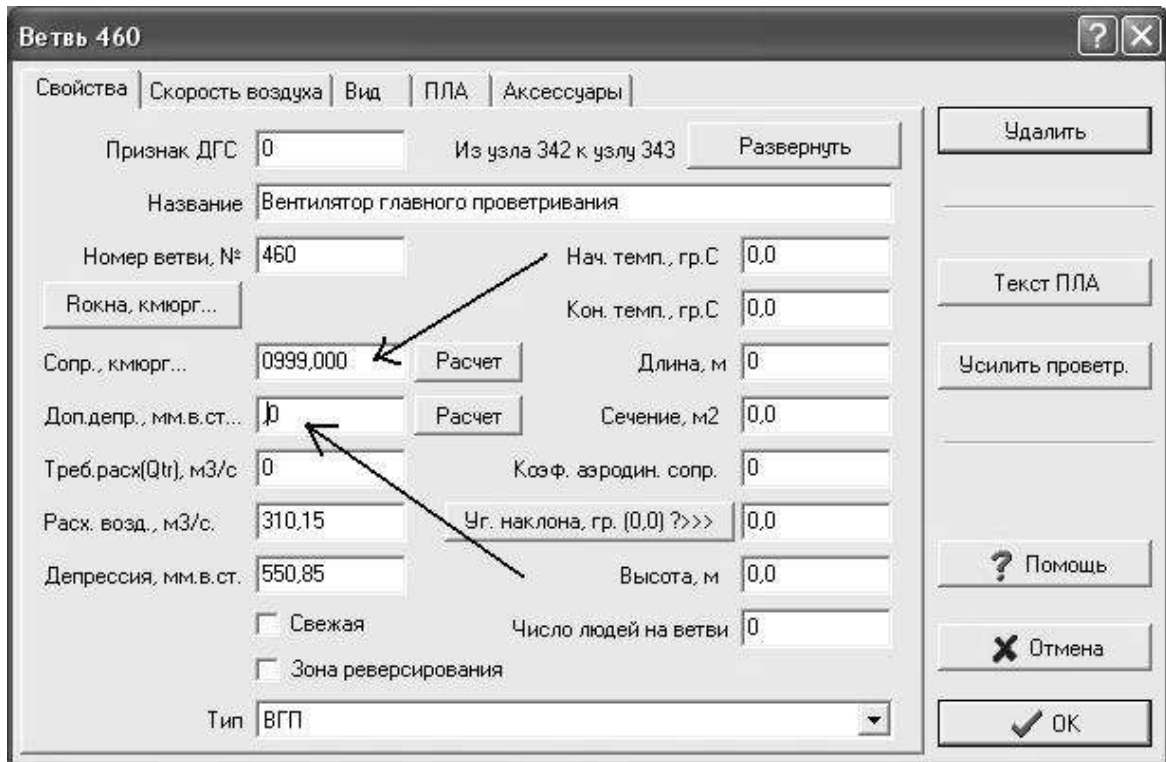


Рисунок 2 – Вікно гілки з моделлю вентилятора головного провітрювання

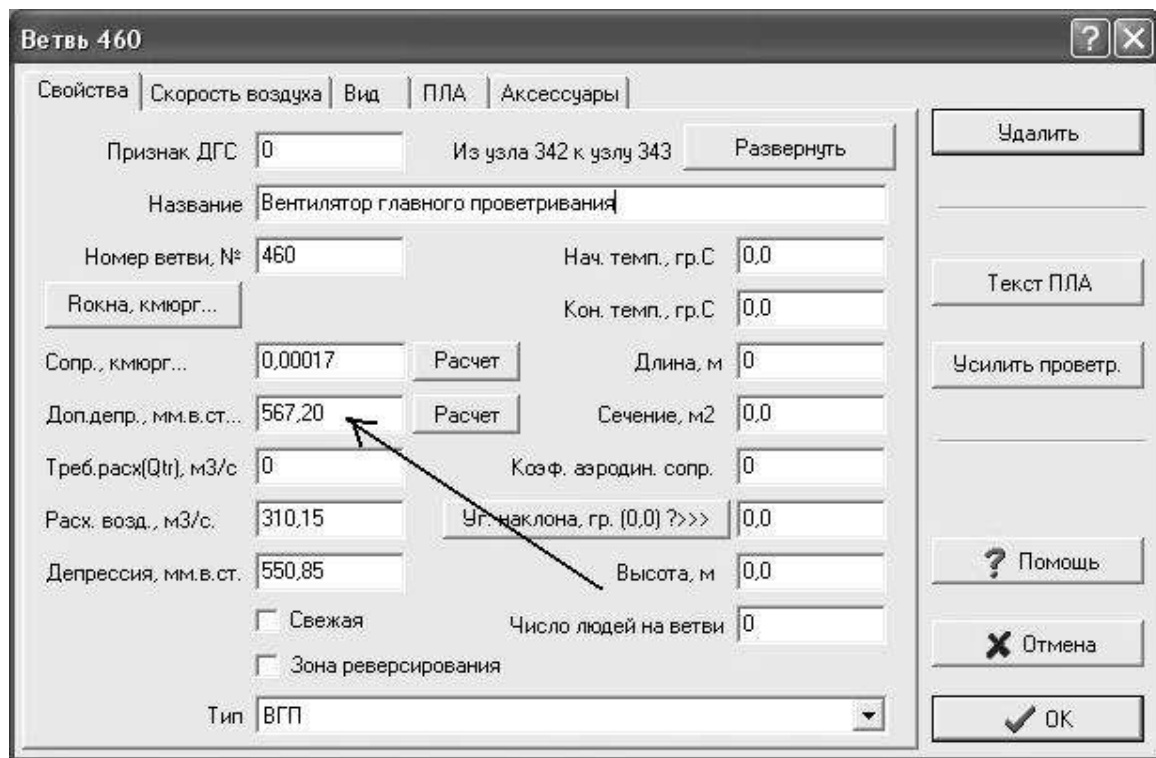


Рисунок 3 – Вікно програми з комп'ютерною моделлю вентилятора

Третій сценарій моделювання передбачає використання середніх змін аеродинамічних опорів вентиляційних споруд і каналів вентиляторів в реверсивному режимі [1]. Для їх отримання було зроблено дослідження змін депресії і витрат повітря при планових перевірках реверсивного режиму вентиляції на деяких шахтах України.

Останній сценарій моделювання шахтного реверсивного режиму вентиляції виконуємо якщо відомі аеродинамічні опори усіх вентиляційних каналів і вентиляційних споруд, що виміряні у реверсивному режимі вентиляції на певній діючій шахті. Перед моделюванням необхідно зменшити аеродинамічні опори гілок-виробок з ознакою «вентиляційні двері», «зовнішні витоки» і змінити опори ділянок каналу вентилятора.

Кожен сценарій повинен виконуватися за допомогою окремої копії комп'ютерної моделі шахтної вентиляційної мережі. Тобто, разом з основною (базовою) версією комп'ютерної вентиляційної мережі шахти потрібно створити ще чотири.

### **Моделювання дії природної тяги в комп'ютерній моделі вентиляційної мережі**

Обов'язковою умовою моделювання реверсивного режиму вентиляції є врахування дії природної тяги в вертикальних і похилих виробках шахти. На шахтах з крутопадними пластами вугілля в холодну пору року природна тяга в вен-

тиляційних контурах з лавами досягає 75-80 Па. Погіршує умови реверсування також те, що взимку, безпосередньо перед реверсуванням (за 10-15 хвилин) виикають калорифери і у стволи може потрапити повітря з низькою температурою (від 0° до -35°С).

На початку реверсування природна тяга також може підвищитися в два-три рази (після початку реверсування в стволи потрапляє повітря з негативною температурою, а в виїмкових дільницях температура майже не змінюється) і заважає реверсуванню вентиляції в контурах з виїмковими дільницями. Наслідком цього є те, що зміна напрямку руху вентиляційного потоку в виробках виїмкових дільниць відбувається тільки на ділянках близьких до стволів. В лавах віддалених від стволів на 3-6 км реверсування потоку повітря може не відбуватися. Для врахування можливих негативних наслідків дії природної тяги слід визначати її максимально можливу сезонну величину. Наприклад, враховувати можливість заморозків у весняний або осінній період року, коли у стволи з поверхні землі може потрапити повітря з температурою -5°С або -10°С. Дія природної тяги моделюється введенням додаткової депресії у гілки вентиляційних контурів, де формується природна тяга [3]. В шахтній вентиляційній мережі можна визначити три групи виробок (рис. 4) де треба моделювати дію природної тяги: шахтні стволи ( $h_{ec}$ ), похилі виробки ( $h_{en}$ ) і виїмкові дільниці ( $h_{ed}$ ).

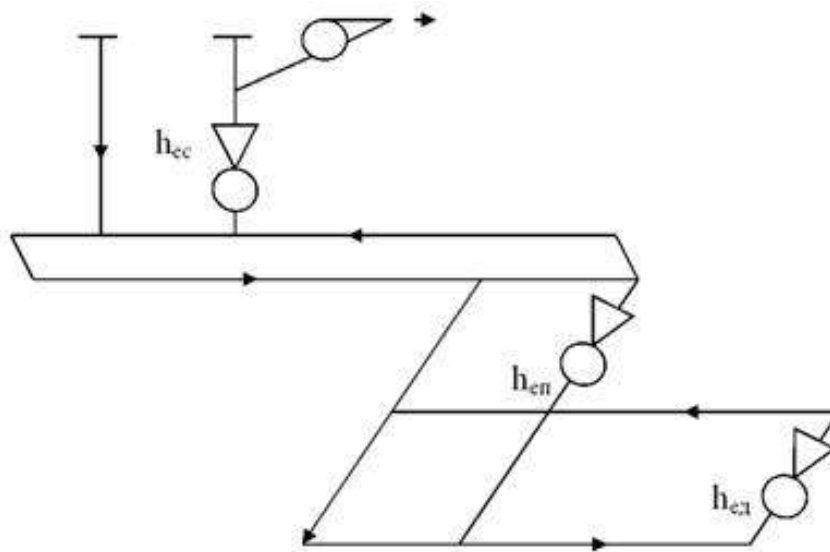


Рисунок 4 – Спрощена схема вентиляційної мережі з джерелами природної тяги

До кожного сценарію реверсування додається комп'ютерне моделювання дії теплової депресії пожежі у похилих виробках (якщо вони розташовані в зоні реверсування) з висхідним або низхідним потоком повітря.

### Аналіз отриманих результатів

Зміст подальшого виконання сценаріїв залежить від результату першого кроку моделювання. Якщо, в першому сценарії моделювання стійкість потоку

повітря при пожежі не зберігається, то можна робити висновок, що порушення стійкості вентиляційних потоків при пожежі відбувається не внаслідок недоліків реверсивного режиму, а внаслідок недоліків проектування вентиляційної системи шахти або змін, які виникли під час її експлуатації. При збереженні стійкості виконуємо наступний варіант моделювання реверсування і дію теплової депресії пожежі.

В усіх випадках, коли моделювання реверсивного режиму вентиляції шахти і дії теплової депресії пожежі вказує на можливість порушення стійкості провітрювання (перекидання потоку повітря) необхідно виконувати дослідження стійкості провітрювання і моделювати відповідні дії для підвищення стійкості потоків повітря при пожежі. Результати моделювання реверсивного режиму вентиляції, моделювання пожеж і рекомендації з підвищення стійкості провітрювання необхідно додавати до планів ліквідації аварій.

### Висновки

1. Комп'ютерне моделювання реверсивного режиму вентиляції шахти повинно відбуватися за певним сценарієм.

2. Сценарій моделювання повинен містити певну послідовність дій пов'язаних з отриманням і використанням бази даних про зміну аеродинамічних параметрів гірничих виробок в реверсивному режиму вентиляції.

3. Використання певної послідовності виконання сценаріїв моделювання реверсивного режиму вентиляції дозволяє визначити причини порушення стійкості вентиляційних потоків при пожежах в похилих виробках шахти і розробити рекомендації по запобіганню цих порушень.

4. Вибір сценарію і аналіз отриманих результатів повинен робити фахівець з моделювання шахтних вентиляційних мереж і аварійних вентиляційних режимів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Болбат, И.Е. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах / И.Е. Болбат, В.И. Лебедев, В.А. Трофимов – М.: Недра, 1992. – 206 с.
2. Трофимов, В.О. Комп'ютерне моделювання аварійних вентиляційних режимів / В.О. Трофимов, Л.В. Незамова // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2009. – № 2 – С. 97-100.
3. Аерология шахтних вентиляційних мереж / В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, О.Л. Кавера [та ін.] – Донецьк: Норд-Прес, 2009. – 87 с.

### REFERENCES

1. Bolbat I.E., Lebedev V.I. and Trofimov V.A. (1992), *Avariynye ventilyatsionnye rezhimy v ugolnykh shakhtakh* [Emergency ventilation modes in coal mines], Nedra, Moscow, Russia.
2. Trofymov, V.O. and Nezamova, L.V. (2009), «Computer simulation emergency ventilation modes», *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*, no.2, pp 97-100.
3. Trofymov V.O., Bulgakov Yu.F., Kavera O.L. (2009), *Aerolohiia shakhtnykh ventyliatsiinykh merzh* [Aerology of mine ventilation system], Nord-Pres, Donetsk, Ukraine.

---

**Трофимов Віталій Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Охорона праці та аерологія», Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), Донецьк, Україна, vialet@yandex.ua

**Кавєра Олексій Леонідович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Охорона праці та аерологія», Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), Донецьк, Україна, kavera@ukr.net

#### **About the authors**

**Trofymov Vitalii Oleksandrovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Associate Professor of Department «Labour protection and Aerology», Donetsk National Technical University (DonNTU), Donetsk, Ukraine, vialet@yandex.ua

**Kaviera Oleksii Leonidovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Associate Professor of Department «Labour protection and Aerology», Donetsk National Technical University (DonNTU), Donetsk, Ukraine, kavera@ukr.net

---

**Анотація.** Стаття посвячена новій методикі комп'ютерного моделювання реверсивного режиму вентиляції на вугільних шахтах України. Розглянуті умови і складності використання реверсивного режиму вентиляції при виникненні пожеги. Предложено декілька сценаріїв комп'ютерного моделювання цього аварійного вентиляційного режиму з допомогою спеціального програмного забезпечення. Сценаріїв передбачають використання різних ступенів складності моделювання і різне інформаційне забезпечення. Важна професійна оцінка результатів моделювання і визначення наступного кроку в сценаріїв. При складанні сценаріїв моделювання для умов визначеної шахти слід співвідносити визначені дії в реальності і їх аналоги в комп'ютерній програмі. Моделювання пожеги в реверсивному режимі вентиляції дозволяє оцінювати стійкість потоків повітря в нахилних виробках і передбачувати дії, які забезпечують безпеку шахтарів на шахтах України.

**Ключевые слова:** вугільна шахта, реверсивний режим вентиляції, комп'ютерне моделювання, сценаріїв моделювання, моделювання пожеги, гірні виробки

**Abstract.** The article is devoted to a new method of computer simulation of reverse mode of ventilation in coal mines of Ukraine. The conditions and complexity of the use of reverse mode of ventilation in case of fire are considered. Several methods of computer simulation of emergency ventilation mode by dint of special software are proposed. Methods contain the use of different levels of difficulty modeling and different information supply. The professional assessment of simulation results and determination the next step in the method are of great importance. At compiling the simulation methods for conditions of the mine certain actions in reality and their counterparts in the computer program should be correlated. Simulation of a fire in the reverse mode ventilation allows to assess the sustainability of air flows in inclined workings and contain actions that ensure the safety of miners in Ukrainian mines.

**Keywords:** coal mine, the reverse mode of ventilation, computer simulation, method simulation, simulation of fire, the mine workings

*Стаття оступила в редакцію 15.02.2013*

*Рекомендовано к публікації д-ром техн. наук Т.В.Бунько*