

## ВПЛИВ ЕНЕРГОВИТРАТ ШАХТАРІВ НА РІВЕНЬ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

Т. О. НЕГРІЙ, І. Г. САХНО, С. Г. НЕГРІЙ\*

Гірничий факультет ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, м. Покровськ, УКРАЇНА  
\*email: serhii.nehrii@donntu.edu.ua

**АНОТАЦІЯ** Обґрунтовується необхідність врахування енергетичних витрат організму шахтарів при виконанні ними операцій (під операцій) в рамках виробничого процесу з метою розробки безпечних технологічних схем ведення гірничих робіт. Отримано залежності енерговитрат організму гірника при його переміщеннях в гірничих виробках, як з вантажем, так і без нього, з урахуванням основних факторів. Встановлено залежність енергетичних витрат організму гірника від частоти серцевих скорочень, використання якої дозволить оперативно оцінювати важкість праці шахтарів та корегувати графік організації робіт з урахуванням фізіологічних можливостей виконавців. Обґрунтована необхідність проведення додаткових досліджень щодо оцінки енергетичної вартості робіт на різних ланках технологічного процесу. Планується подальше вивчення фізіології праці шахтарів при виконанні ними виробничих операцій: видобутку вугілля, проведенні та ремонті виробок, транспортуванні вантажів, обслуговуванні та ремонті обладнання і т.д.  
**Ключові слова:** безпека праці; умови праці; енергетичні витрати; кореляція; операції; виробничий процес

## THE INFLUENCE OF THE ENERGY EXPENDITURE ON THE MINERS' SAFETY LEVEL

T. NEHRII, I. SAKHNO, S. NEHRII\*

Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, UKRAINE

**ABSTRACT** Here are considered some questions of the physiology of miners' labor in the implementation of their manufacturing operations. In this article it was analyzed the occurrence rate of industrial injuries in mining process at the conditions of mines of Ukrainian Donbas. Labor conditions were examined and their influence on the rate of industrial injuries were considered, too. The necessity of determining of the energy expenditure of miners' bodies in implementation of operations in job processing is justified for the development of the safe technological schemes of mining, which would be man focused. With multiple correlation method there were obtained the dependences of the energy expenditure of the miner's organism when he moved through the mines with cargo or without it. And also the basic influencing factors are considered: mine grade and miner's movement speed. Also was specified the dependence of the energy expenditure of miners' bodies from heart rate. Usage of these dependences will allow to assess rapidly the severity of conducting concrete industrial operations and to adjust the work schedules based on physiological features of performers to prevent accidents of industrial injuries. It was proposed the necessity of carrying out of additional assessment study for energy costs of work on various phases of the technological process. It is planned the follow-up study of the physiology of miners' labor in the implementation of their manufacturing operations: coal mining, roadway maintenance and excavation, transportation of goods, equipment maintenance and repairing, etc.

**Keywords:** safety; working conditions; energy costs; the correlation; operation; the production process

### Постановка проблеми

В умовах підземної розробки вугільних родовищ при збільшенні концентрації виробництва, обтяженні небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а, отже, збільшенні рівнів травматизму та професійної захворюваності питання забезпечення безпечних умов праці шахтарів є вельми актуальним [1-6]. На діючих шахтах Донецької області в останні роки відбувалося в середньому 2500 нещасних випадків на рік. Із загальної кількості нещасних випадків в середньому щорічно 91,3 % відбулися при веденні робіт в найбільш складних гірничо-геологічних умовах. В очисних виробках шахт 55,8 %

нешасних випадків сталося від обвалень та обрушень породи, 17,1 % - машин і механізмів, 14,9 % - вибухів газу та пилу. У підготовчих вибоях від обвалень та обрушень відбулося 31,8 % нещасних випадків, по 11,8% - від транспорту і раптових викидів. У довгих горизонтальних і інших гірничих виробках основний травматизм пов'язаний з транспортом і підйомом - 60,5 %, на обвалення та обрушення припадає 10,7 %, електрострум - 4,7 % [6]. Основна частка нещасних випадків зі смертельним наслідком припадає на чинники: обвалення та обрушення, підземний транспорт і підйом, вибухи газу і пилу, машини і механізми, а також падіння предметів і людей (рис. 1).

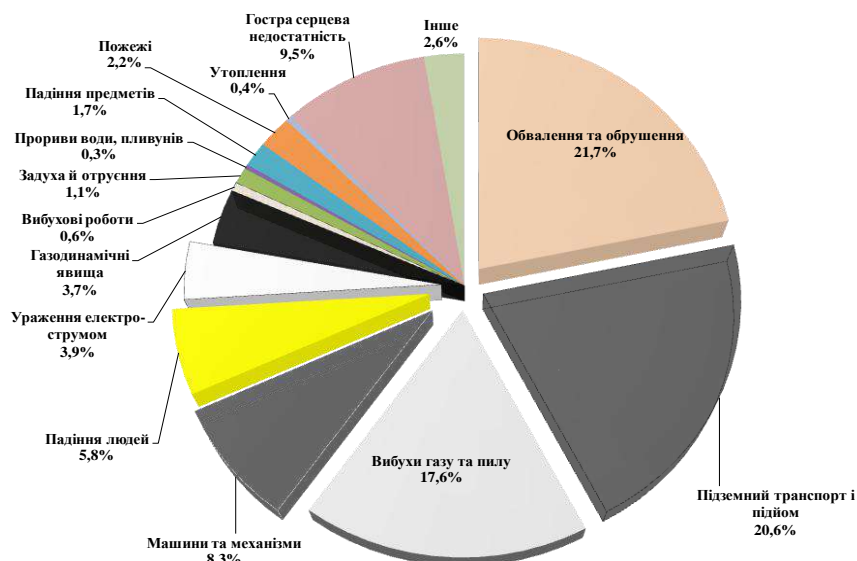


Рис. 1 – Діаграма відносного співвідношення смертельного травматизму за основними факторами по вугільним шахтам України з 1991 по 2008 рр.

Найбільша кількість нещасних випадків відбувається внаслідок порушення дисципліни робітниками й інженерно-технічними працівниками при здійсненні трудової діяльності в підземних гірничих виробках, тому в 80-82% випадків основною причиною подій є людський фактор [8-14]. Але людині властиво помилятися, особливо в тих випадках, коли вона не в змозі оцінити навколишнє оточення на робочому місці внаслідок наявності безлічі відволікаючих і маскуючих чинників, свого психофізіологічного стану, зумовленого інтенсивністю і важкістю виконання операцій протягом робочої зміни. При наявності великої концентрації факторів, виконання трудомістких, монотонних операцій гірник припускається помилок в роботі, втрачає можливість «читати» ситуацію на робочому місці, порушує трудову дисципліну [7]. Тому події, які можуть спричинити нещасні випадки, обумовлені саме умовами праці шахтарів.

При проектуванні паспортів ведення гірничих робіт взагалі не враховуються психофізіологічні та санітарно-гігієнічні фактори умов праці [7, 15]. До них відносяться: фізичні навантаження людини, швидкісні, енергетичні, зорові та інші фізіологічні можливості, режим праці та відпочинку, нервово-психологічна напруга, фізико-хімічний склад повітряного середовища, освітленість, рівні шуму та вібрації, мікрокліматичні умови і т.д. Відомо, що ймовірність травмування гірників прямо залежить від тяжкості і напруженості виконання ними операцій виробничого циклу в умовах поганої освітленості, складних мікрокліматичних умов, впливу шуму, вібрації [7]. Тобто всі ці фактори «провокують» гірника на спрощення операцій за рахунок зневаги вимогами правил безпеки і розпорядчих нормативних документів. Деякі з цих факторів були розглянуті в роботі [7] на прикладі технологічних схем ведення очисних робіт в умовах пласта с11 ДП

«Шахтоуправління «Південнодонбаське №1». До факторів, вплив яких на рівень травматизму істотний, було віднесено: температуру та швидкість повітря, його відносну вологість, рівні шуму і вібрації, освітленість, енерговитрати організму робітника, запиленість, обмеженість і захарашеність робочого простору і т.д. Але, якщо більшу частину цих чинників можна віднести до конкретного робочого місця з встановленням зон їх впливу в межах очисного вибою і прилеглих до них ділянок підготовчих виробок (рис. 2), то врахувати фізичні можливості гірників при виконанні операцій в рамках виробничого процесу досить складно. Це обумовлено тим, що до теперішнього часу немає комплексних досліджень щодо встановлення енергетичних витрат робочих при виконанні конкретних операцій для розробки графіків організації робіт, які були б орієнтовані на людину.

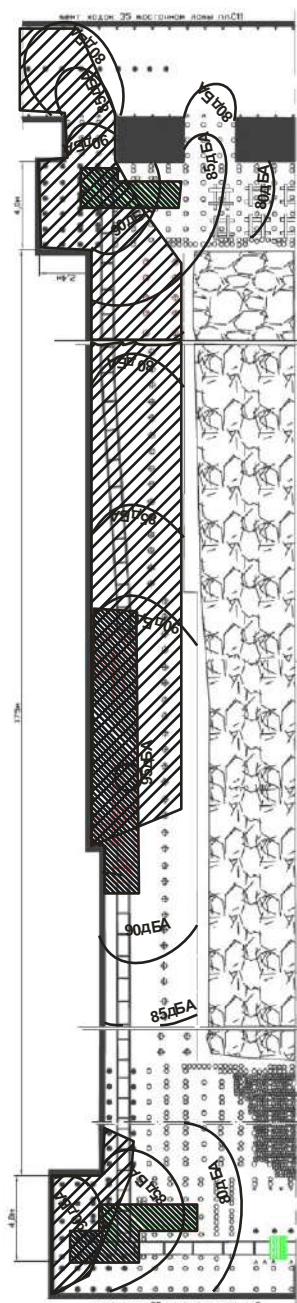
#### Мета роботи

Метою роботи є визначення енергетичних витрат шахтарів при виконанні операцій в рамках основних виробничих процесів для подальшого вдосконалення графіків організації гірничих робіт.

#### Виклад основного матеріалу

Психофізіологічні чинники, що визначають умови праці шахтарів, можуть бути оцінені показниками важкості праці, до яких відносяться: енерговитрати організму, маса переміщуваного ними вантажу, кількість рухів і переміщень [14, 16]. Під час виконання основних, допоміжних і підготовчо-заклучних операцій впродовж зміни здійснюються роботи, які відрізняються своєю енергетичною вартістю (енергоємністю). Ці відмінності обумовлені різним ступенем складності робіт, різними фізичними

навантаженнями виконавців, ергономікою робочих місць, санітарно-гігієнічними умовами зовнішнього середовища, наявністю і ефективністю засобів індивідуального захисту. Від енергоємності робіт залежать енерговитрати організму виконавця, ступінь втоми і ймовірність його травмування.



Умовні позначення:  
90ДБ - ізоляція рівня звуку  
[diagonal hatching] - зона дії джерела вібрації  
[diagonal hatching] - зона запиленості повітря при роботі машин та устаткування

Рис. 2 – Карта зонування очисного вибою й прилеглих до нього виробок за шкідливими умовами праці (35 східна лава пл. с11 ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1»)

Оцінка умов праці в залежності від рівнів впливу факторів виробничого середовища і трудового процесу з урахуванням можливого шкідливого впливу цих факторів на здоров'я працівників регламентується Державними санітарними нормами і правилами (Гігієнічною класифікацією праці) [16]. Класифікація умов праці дозволяє розробляти та вдосконалювати заходи щодо їх поліпшення і профілактики шкідливого впливу на організм працюючих, оцінювати тяжкість і небезпеку умов праці, як самими робітниками, так і органами соціального чи медичного страхування, установами охорони здоров'я і т.д.

Для визначення енергетичних витрат організму застосовуються такі способи їх розрахунку [17, 18]:

- розрахунок зменшення енергетичних ресурсів організму;
- вимір продукції тепла;
- розрахунок величини кисневого запиту;
- розрахунок кількості роботи, що витрачається при виконанні виробничих операцій, протягом певного проміжку часу;
- розрахунок енерговитрат за частотою серцевих скорочень.

Для визначення зменшення енергетичних ресурсів необхідно взяти проби з тканин для встановлення зміни кількості енергобагатих речовин в окремих частинах тіла людини, що дуже складно і практично неможливо [17]. Вимірювання продукції тепла (пряма калориметрія) ґрунтується на визначенні кількості тепла, що виділяється тілом, в лабораторних умовах і при обмеженій кількості видів діяльності протягом декількох годин. Тому застосовувати цей спосіб для вирішення завдань, поставлених у цій роботі, недоцільно.

При визначенні витрат енергії по кисневого запиту (непряма калориметрія) береться до уваги той факт, що кожному витраченому літру кисню відповідає еквівалентна кількість енергії, що звільняється (калориметричний еквівалент кисню), яка залежить від субстрату, що окислюється (білків, жирів або вуглеводів) [17]. За об'ємом і складом повітря, що видихається, для різних груп робітників, що виконують різні види робіт, обчислюються: вентиляція легенів, відсотки утилізації кисню, продукції вуглекислого газу, споживання кисню і виділення вуглекислого газу [17-20].

Для забезпечення допустимих значень тяжкості праці темп виконання трудових операцій протягом зміни повинен плануватися відповідно до нормативів часу і необхідної величини відпочинку [21]. Крім того, маса утримуваного вантажу не повинна перевищувати 18 кг, а при перенесенні - 30 або 40 кг при різній висоті робочого простору (до 1 м або більше). Але, як показує практика, не завжди ці норми виконуються. Підземні робітники основних професій зайняті фізичною працею більш, ніж 5 годин на зміну, що складає для прохідників і гірників очисного вибою (ГРОВ), відповідно, 91,0 % і 87,6 % від тривалості

зміни [22]. Середній рівень їх енерговитрат за зміну високий і становить 4,4-6,4 ккал/хв. Найбільші гірничої маси в прохідницьких і очисних вибоях (відповідно, 7,4 і 10,3 ккал/хв.) [22]. Середня величина енерговитрат у гірників при ходьбі по штреку складає 4,1 ккал/хв., а в деяких випадках досягає 10 ккал/хв., що пояснюється різними швидкостями пересування, нахилом виробок, їх обводненням, захаращеністю [19]. У цій же роботі досить докладно розглянуті енерговитрати рятувальників при їх пересуванні по гірничим виробкам і виконанні гірничорятувальних робіт. Енергоємність цих робіт визначалася за результатами вимірів об'єму споживання кисню рятувальниками в умовах максимально наближених до реальних, в тому числі з включенням їх в ізолюючі респіратори. Розглядалося пересування рятувальників по підготовчим і очисним виробкам з різними кутами їх нахилу і видом пересування по ним, з різною швидкістю переміщення і при різній висоті виробок, що визначають перехідні положення тіл виконавців. Також вказується, що пересування в ізолюючих респіраторах, що обтяжують дихання і обмежують рухи, призводить до збільшення енергетичних витрат [17]. Порівняння об'ємів споживання кисню при виконанні окремих операцій в ізолюючому регенеративному респіраторі та без нього, показало, що енерговитрати будуть на 16 % менше при роботі без респіратора.

Додаткові енерговитрати організму мають місце при переміщенні у різних перехідних положеннях тіла, при виконанні робіт в вимушених, незручних і фіксованих позах. Так, переміщення по лаві вниз в напівзгнутому положенні або на колінах, вимагає втрат енергії до 5 ккал/хв., по-пластунськи - ця величина досягає 7 ккал/хв. Але навіть при зручній робочій позі, яка характеризується мінімальними напруженнями м'язового і зв'язкового апаратів, через 2-3 години у працівників виникають ознаки втоми і бажання змінити позу. Ступінь зростання напружень знаходиться в прямій залежності від величини відхилення від параметрів зручної робочої зони [23].

Втрати енергії на виконання і-тої операції  $N_i$  (ккал/хв.), що передбачає переміщення різноманітних вантажів за певний час  $t_i$  (хв.), може бути розрахована за формулою [20, 24].

$$N_i = 1,43 \cdot 10^{-3} \left( mh_n + \frac{mh_o}{2} + \frac{ml}{9} \right) \frac{g}{t_i}, \quad (1)$$

де  $m$  - маса вантажу, кг;  $h_n$ ,  $h_o$  - відповідно, висота підняття та опускання вантажу, м;  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $l$  - відстань переміщення вантажу по горизонталі, м.

Вираз (1) може використовуватись при переміщенні по горизонталі і не враховує швидкість руху. В умовах підземних виробок часто змінюється нахил їх профілів, а в умовах їх захаращеності та обводнення швидкості переміщення робочих можуть

енерговитрати відзначені при ручному прибиранні змінюватись. Тому цей вираз може використовуватись, для визначення витрат енергії на підняття та опускання вантажу, тобто

$$N_i = \frac{1,43 \cdot 10^{-3}}{t_i} mg \left( h_n + \frac{h_o}{2} \right). \quad (2)$$

За результатами роботи [17] було оцінено спільний вплив кута нахилу виробки і швидкості переміщення гірників на енерговитрати організму встановленням двофакторної залежності з використанням методу множинної кореляції [25].

Порівнянням стандартних видів залежностей, які застосовуються при статистичній обробці результатів було отримано рівняння з коефіцієнтом кореляції  $r$ , значення якого показувало найтісніший зв'язок між ознакою та факторами. Сильний зв'язок був у параболічній залежності, яка представлена графічним способом на рисунку 3, а аналітичним має вигляд

$$N_e = 7,47 + 2,36 \sin^2 2\beta + 1,92v^2 + 3,2 \sin 2\beta - 4,23v \quad (r=0,83), \quad (3)$$

де  $N_e$  - енергетичні витрати організму шахтаря при його пересуванні по гірничим виробкам, ккал/хв.;  $\beta$  - кут нахилу виробки, град.;  $v$  - швидкість переміщення по виробці, м/с.

Цей вираз емпіричний, тому фактори різні за своєю сутністю та мають різні одиниці виміру. Коефіцієнти при цих факторах непорівнянні та мають різну розмірність. В залежності більший вплив на енерговитрати організму має кут нахилу виробки, в порівнянні зі швидкістю пересування людини. Причому швидкість переміщення несуттєво впливає на енерговитрати, якщо ходьба виконується в уповільненому або довольному темпах, що пояснюється в цьому випадку мінімальною активністю м'язів. При повільному темпі енергетичні витрати дещо вищі, а при швидкостях, відповідних прискореному і швидкому темпам, вони будуть з найбільшими значеннями. Тому при ходьбі по гірничим виробкам оптимальними є уповільнений і довольний темпи і це узгоджується з результатами робіт [26] та [27]. Різні витрати енергії під час спуску і підйому по виробці пояснюються функціонуванням м'язів-антагоністів і навантаженнями на різні суглоби. При підйомі домінує силовий долаючий тип роботи м'язів, а при спуску - коригувальний і поступливий режими м'язової діяльності. Причому для ходьби вгору великого значення набувають рухи в тазостегновому суглобі, а вниз - рухи в гомілковостопному суглобі. При довольному темпі ходьби мінімальна активність м'язів пояснюється збігом частоти дії вимушуючих м'язових сил до власної частоти коливань нижньої кінцівки.

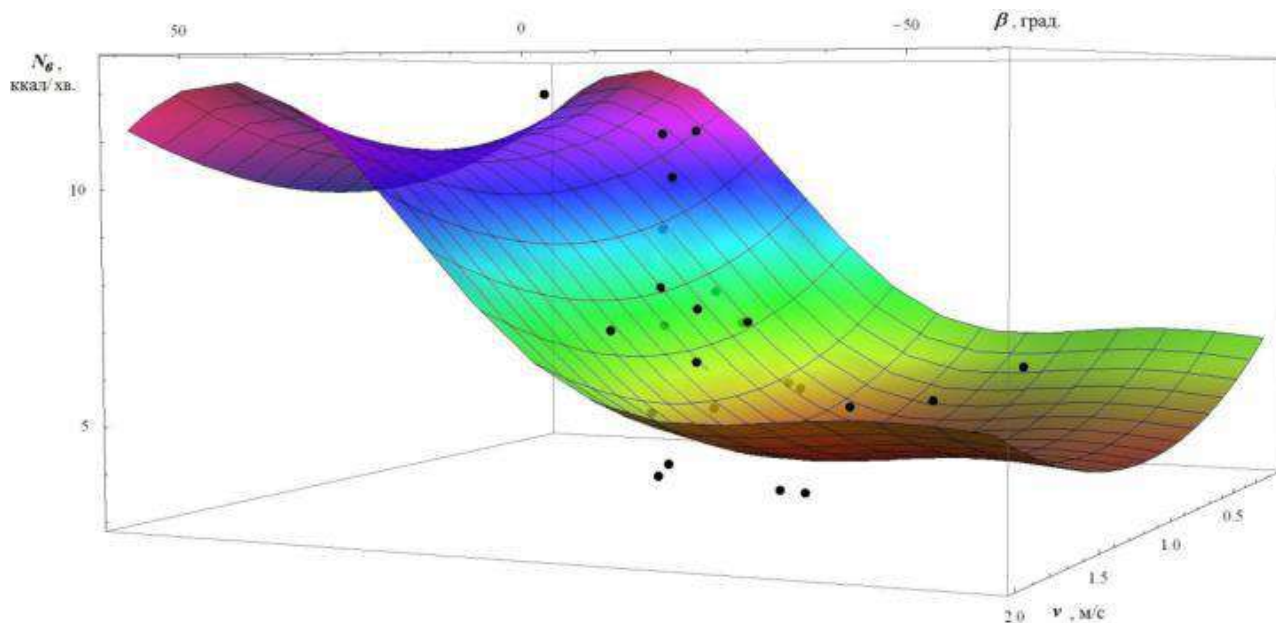


Рис. 3 – Графік залежності енергетичних витрат шахтарів  $N$  від кута нахилу гірських виробок  $\beta$  та швидкості ходьби  $v$  при їх пересуванні по цим виробкам

Виразом (1) враховується ходьба робочого без вантажу, але у випадках переміщення з вантажем енерговитрати  $N_z$  можуть бути визначені за формулою [28]

$$N_z = N_0 \left( 1 + \varphi \frac{M_z}{M_0} \right), \quad (4)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт споживання кисню при перенесенні вантажу ( $\varphi = 2,3$ );  $M_z$  та  $M_0$  - відповідно маса вантажу та тіла людини, кг.

Таким чином, з (1) та (2) випливає

$$N_z = \left( 7,47 + 2,36 \sin^2 2\beta + 1,92v^2 + 3,2 \sin 2\beta - 4,23v \right) \left( 1 + 2,3 \frac{M_z}{M_0} \right). \quad (5)$$

Аналогічно можемо встановити залежності енерговитрат організму гірника при його пересуванні по очисному вибою. Але в цих залежностях крім кута нахилу лави і швидкості переміщення необхідно врахувати потужність пласта, тому що від висоти привибійного простору залежить перехідне положення тіла. Тоді, використовуючи результати роботи [17], загальні енергетичні витрати ГРОВ, що переміщуються по лаві, в залежності від факторів, що впливають, можуть бути представлені табличним і аналітичним способами. В останньому випадку залежність матиме вигляд

$$N_{oc} = 9,32 - 1,38 \sin^2 2\alpha + 8,32V^2 - 4,24m^2 + 2,17 \sin 2\alpha - 6,65V + 9,09m, \quad (6)$$

де  $N_{oc}$  - енергетичні витрати організму шахтаря при його пересуванні по лаві, ккал/хв.;  $\alpha$  - кут падіння пласта, град.;  $V$  - швидкість переміщення по лаві, м/с.

У даній залежності, на відміну від виразу (1), кореляція середня ( $r=0,66$ ). Це обумовлено тим, що на відміну від ходьби по виробці в повний зріст, пересування по лаві передбачає прийняття вимушених перехідних положень тіла, при яких в роботу включаються додаткові групи м'язів, а також переміщення виконуються в лавах, де розташовується очисне обладнання та механізми, які створюють перешкоди на шляху. Тому ми не можемо отримати більш достовірний математичний вираз, що описує цей процес. Тобто необхідне врахування додаткових чинників або справедливим буде встановлення залежностей для різних положень тіла. Тоді емпіричні залежності при перехідних положеннях тіла ГРОВ будуть мати такий вигляд:

- по-пластунські:

$$N_{oc} = 5,27 - 10,3 \sin^2 2\alpha + 9,07V^2 + 11,61 \sin 2\alpha + 9,49V \quad (r=0,98); \quad (7)$$

- навкарачки:

$$N_{oc} = 9,97 - 5,2 \sin^2 2\alpha - 98,44V^2 + 2,71 \sin 2\alpha + 31,81V \quad (r=0,94); \quad (8)$$

- напівзігнувшись:

$$N_{oc} = -1,61 + 5,4 \sin^2 2\alpha - 0,31V^2 + 4,53 \sin 2\alpha + 10,72V \quad (r=1,0). \quad (9)$$

В цих виразах вельми сильні кореляційні зв'язки, що вказує на їх достатню збіжність з експериментальними даними та вони можуть бути використані для визначення енергетичних витрат на переміщення підземних робітників при виконанні певних операцій в рамках виробничих процесів у

Якщо прийняти, що фізичний стан гірників приблизно однаковий, то з фізіолого-ергонометричних характеристик праці шахтарів [17, 20] отримуємо залежність енерговитрат  $N$  від  $ЧСС$

$$N = 0,149 ЧСС - 10,68 \quad (10)$$

Отримана лінійна залежність має коефіцієнт кореляції 0,95 і досить добре узгоджується з результатами розрахунків А. Buskirik [29] для людей під час заняття лікувальною фізичною культурою. При порівнянні цих залежностей більша реакція енерговитрат на частоту серцебиття (рис. 4) для підземних робітників обумовлена менш сприятливим навколишнім мікрокліматом, роботою в протипилових респираторах і наявністю зовнішніх перешкод при виконанні операцій.

лавах. Але виконання обов'язків гірників не обмежується переміщенням по гірничим виробкам, а ще виконуються інші роботи, які можуть бути більш витратними і важкими. Визначити енергетичні витрати робітника при виконанні конкретної операції можна за частотою серцевих скорочень ( $ЧСС$ ).

На рис. 4 вказані межі областей між частотою серцевих скорочень у спокої і її максимальним значенням, коли виконавець може виконувати свої трудові обов'язки. Частота серцебиття в стані спокою залежить від віку, статі, розмірів тіла, способу життя людини та у більшості дорослих здорових людей становить близько 60-70 уд./хв. [30, 31]. При фізичних навантаженнях пульс може досягати свого максимального значення  $ЧСС_{max}=180$  і більше ударів за 1 хв. При перевищенні  $ЧСС_{max}$  у людини падає продуктивність внаслідок того, що з цього моменту легенева вентиляція починає зростати швидше, ніж потужність роботи. Також показано зони, що відносяться до різних категорій тяжкості роботи (від легкої до дуже важкої [16]). Режими, в яких працюють гірники, відносяться до всіх цих категорій і в більшій мірі до важкої та дуже важкої роботи.

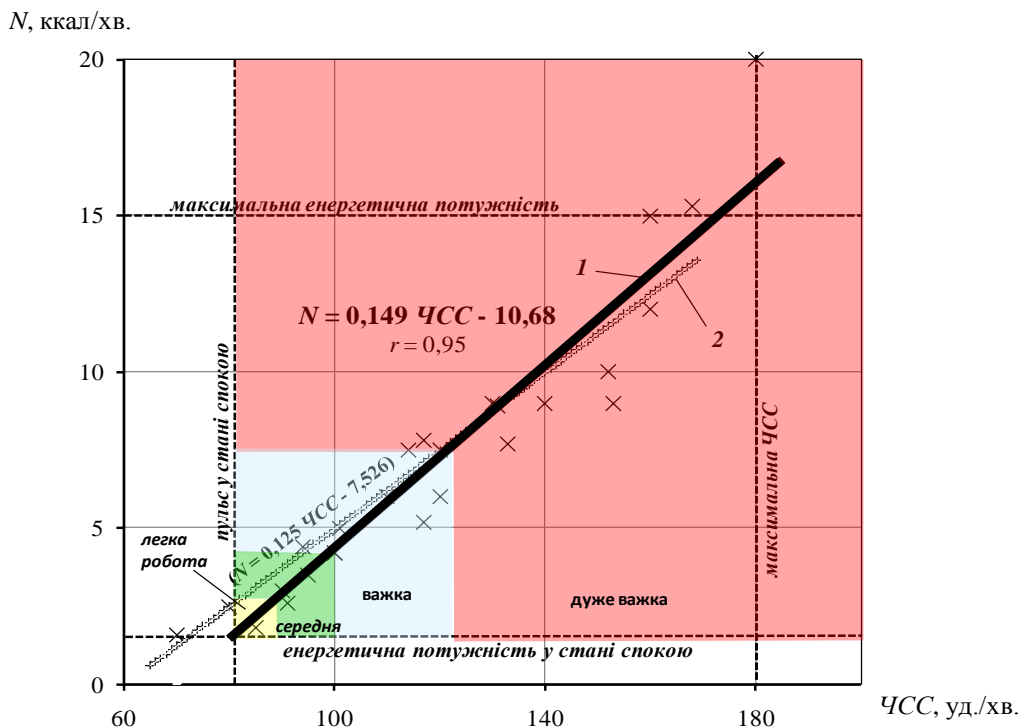


Рис. 4 – Графіки залежності енергетичних витрат організму  $N$  людини від частоти серцевих скорочень  $ЧСС$  (1 і 2 - відповідно, отримана залежність і побудована за результатами А. Buskirik)

У цілому сумарна енергетична вартість робіт при виконанні конкретної операції може бути оцінена з використанням отриманих залежностей і за результатами досліджень. За окремими під операціями енерговитрати можуть бути визначені з використанням величин та формул, які отримані за фізіологічними характеристиками праці [17,18] та у відповідності з отриманими залежностями (табл. 1).

Деякі з приведених робіт оцінені тільки енерговитратами з вказівкою діапазону їх зміни та середніх величин. Встановити відповідні залежності досить складно, тому що майже неможливо врахувати вплив різних факторів на результати виконання цих робіт, тому що вони складаються з наборів короткочасних рухів, виконуваних у випадковому порядку.

Таблиця 1 – Результати визначення енерговитрат організму шахтаря при виконанні окремих операцій по ЧСС

Найменування робіт	Величина енерговитрат ( $N$ , ккал/хв.) або формула для її визначення	Підстави для встановлення
Ходьба по виробкам без вантажу	$N_g = 7,47 + 2,36\sin^2 2\beta + 1,92v^2 + 3,2\sin 2\beta - 4,23v$	(3)
Ходьба по виробкам з вантажем	$N_c = \left(7,47 + 2,36\sin^2 2\beta + 1,92v^2 + 3,2\sin 2\beta - 4,23v\right) \left(1 + 2,3 \frac{m_c}{m_0}\right)$	(5)
Підняття-опускання вантажу	$N_i = \frac{1,43 \cdot 10^{-3}}{t_i} mg \left(h_n + \frac{h_o}{2}\right)$	(2)
Рух по лаві	- по-пластунськи: $N_{oc} = 5,27 - 10,3\sin^2 2\alpha + 9,07V^2 + 11,61\sin 2\alpha + 9,49V$ - навкарачки: $N_{oc} = 9,97 - 5,2\sin^2 2\alpha - 98,44V^2 + 2,71\sin 2\alpha + 31,8IV$ - напівзігнувшись: $N_{oc} = 5,4\sin^2 2\alpha - 0,3IV^2 + 4,53\sin 2\alpha + 10,72V - 1,61$	(7)-(9)
Управління комбайном	от 2,7 до 5,1 (середня 3,9)	[23]
Управління гідрофікованим кріпленням	от 3,9 до 6,0 (середня 4,9)	[23]
Управління породонавантажувальною машиною	4,0	[23]
Виймання ніші відбійним молотком	от 4,2 до 5,7 (середня 4,9)	[18]
Виймання вугілля відбійним молотком і вантаження його вручну	от 3,3 до 10,3 (середня 5,4)	[18]
Ручне прибирання породи	от 4,2 до 14,4 (середня 9,3)	[18]
Буріння шпурів ручними інструментами	4,0	[23]
Буріння шпурів з застосуванням колонкових і пневматичних підтримок	2,0	[23]

Як бачимо, не всі основні операції (підоперації) на цей час оцінені енергетичними витратами виконавців, а деякі з них ґрунтуються на незначній кількості спостережень, тому є потреба у проведенні додаткових досліджень щодо вивчення фізіології праці шахтарів при виконанні ними виробничих операцій при видобутку вугілля, переведенні виробок, транспортуванні вантажів, обслуговуванні та ремонті обладнання, тощо. Але наявний масив даних дозволяє оцінити важкість робіт, що виконуються, та може бути взятий за основу для удосконалення або розробки технологічних схем ведення гірничих робіт.

Отримана залежність енерговитрат від частоти серцевих скорочень може бути використана для визначення важкості праці будь-якої операції в шахтних умовах. Це дозволить оперативно корегувати умови праці шахтарів з метою запобігання виникненню подій, які можуть спричинити настання нещасних випадків.

#### Висновки

Таким чином, в роботі було розглянуто можливість оцінювання умов праці шахтарів за рахунок визначення їх енерговитрат при виконанні певних операцій. Це дозволить оперативно

корегувати організаційні та технологічні параметри виробничого процесу для запобігання виникнення нещасних випадків.

Використання встановлених в роботі кількісних залежностей дозволить істотно спростити алгоритм виконання розрахунків щодо визначення енерговитрат. Але вони можуть бути використані для обмеженої кількості операцій, тому необхідне проведення додаткових досліджень щодо оцінки енергетичної вартості робіт на різних ланках технологічного процесу.

#### Список літератури

1. **Saria, M.** Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey / **M. Saria, A. Sevtap Selcukb, C. Karpuzc, H. Sebnem, B. Duzgunc** // *Safety Science*. – 2009. – V. 47, 1. – P. 78–87. doi:10.1016/j.ssci.2007.12.004.
2. **Mahdevari, S.** Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS/ **S. Mahdevari, K. Shahriar, A. Esfahanipour** // *Science of The Total Environment*. – 2014. – V. 488–489, 1. – P. 85–99. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.076.
3. **Wua, L.** Major accident analysis and prevention of coal mines in China from the year of 1949 to 2009 / **L. Wua, Z. Jianga, W. Chengb, X. Zuoc, D. Lvb, Y. Yaob** // *Mining*

- Science and Technology (China)*. – 2011. – V. 21, 5. – P. 693–699. doi: 10.1016/j.mstc.2011.03.006.
4. **Румежак, О.Н.** Состояние и проблемы промышленной безопасности на горнодобывающих предприятиях Украины / **О.Н. Румежак** // *Науковий вісник НГУ*. – 2010. – № 2. – С. 36-39.
  5. **Чуриканова, О.Ю.** Економічна складова аналізу чинників травматизму на вугільних шахтах України / **О.Ю. Чуриканова** // *Науковий вісник НГУ*. – 2012. – № 2. – С. 139-145.
  6. **Негрей, Т.А.** О безопасности труда горнорабочих при выполнении основных производственных операций / **Т.А. Негрей** // *Вісник Донецького гірничого інституту*. – 2016. – №1 (38). – С. 84-94.
  7. **Негрей, Т.А.** Исследование условий труда шахтеров при выполнении основных производственных процессов / **Т.А. Негрей** // *Вісник Донецького гірничого інституту*. – 2016. – №2 (39). – С. 108-116.
  8. **Грядущий, Б.А.** Опасные и вредные производственные факторы подземной добычи угля в технологическом, социальном и экологическом аспектах / **Б.А. Грядущий**. – Донецк: ЦБНТИ угольн. пром., 1994. - 158 с.
  9. Аварийность на угольных шахтах Украины в 1998-1999 годах. Обзор. - Донецк: НИИГД. - 2000. - 47 с.
  10. **Шевченко, В.Г.** Разработка научно-методических принципов повышения готовности систем „горнорабочие – очистной комплекс“ к высокопроизводительной и безопасной работе / **В.Г. Шевченко** // *Науковий вісник НГУю* – 2010, № 9. – С. 88-93.
  11. **Sari M.** Accident analysis of two Turkish underground coal mines / **M. Sari, H.S.B. Duzgun, C. Karpuz, A.S. Selcuk** // *Safety Science*. – 2004. – №42. – P. 675–690.
  12. **Page, K.** Blood on the coal: The effect of organizational size and differentiation on coal mine accidents / **K. Page** // *Journal of Safety Research*. – 2009. – 40(2). – 85–95. doi:10.1016/j.jsr.2008.12.007.
  13. **Paul, P. S.** The role of behavioral factors on safety management in underground mines /, **P. S. Paul, & J. Maifi** // *Safety Science*. – 2007. – 45(4). – 449–471. doi:10.1016/j.ssci.2006.07.006.
  14. **Browne, R. C.** Safety and health at work: The Robens Report / **R. C. Browne** // *British Journal of Industrial Medicine*. – 1973. – 30(1). – 87–91. doi:10.1136/oem.30.1.87.
  15. **Пугач, И.И.** Исследования устойчивости боковых пород в сложных горно-геологических условиях / **И.И. Пугач, С.В. Подкопаев, И.В. Иорданов, Д.А. Чепига** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 111-116. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.
  16. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» // Затв. наказом МОЗ України №248 від 08.04.2014.
  17. Исследовать условия применения различных типов респираторов при ведении горноспасательных работ и разработать Концепцию защиты органов дыхания горноспасателей / Отчет по 2 этапу НИР, НПО «Респиратор», Донецк, 1994.- 26 с.
  18. Руководство по физиологии труда / Под ред. **З.М. Золиной, Н.Ф. Измерова**.- М.: Медицина, 1983, 528 с.
  19. **Garry, R.S.** Studies on Expenditure of Energy and Consumption of Food by Miners and Clerks, Fife, Scotland, 1952 / **R. C. Garry, R. Passmore, Grace M. Warnock, and J. V. G. A. Durnin** // *Medical Research Council Special Report Series No. 289. London: H.M. Stationery Office*. 1955.- 70 p.
  20. **Солонин, Ю.Г.** Возрастные особенностей некоторых физиологических функций в процессе работы у лиц тяжелого физического труда / **Ю.Г. Солонин, С.Н. Масленцова, З.М. Кузнецова** // *Физиология человека*. – 1981. –2, №2. – С. 221-228.
  21. **КД 12.01.01.503-2001.** Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство, Киев, 2002. - 141 с.
  22. **Головкова, Н.П.** Оценка условий труда, профессионального риска, состояния профессиональной заболеваемости и производственного травматизма рабочих угольной промышленности / **Н.П. Головкова, А.Г. Чеботарёв, Н.О. Каледина, Н.А. Хелковский-Сергеев** // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2011. – №57. – С. 9-40.
  23. **Чеботарёв, А.Г.** Тяжесть и напряжённость труда работников при добыче полезных ископаемых, меры профилактики / **А.Г. Чеботарёв, В.В. Матюхин** // *Журнал "Горная Промышленность"*. – 2013. - №4 (110). – С. 66.
  24. **Цугленок, Н.В.** Методика расчета энергозатрат работающих на тушении лесных пожаров / **Н.В. Цугленок, Ю.Т. Цай** // *Вестник КрасГАУ*. - 2005.- №11.- С. 227-230.
  25. **Rönz, V.** Regressions und Korrelationsanalyse: Grundlagen-Methoden-Beispiele / **Bernd Rönz and Erhard Förster**. - Wiesbaden: Gabler, 1992.-365 s.
  26. **Саранцев, А.В.** Явления резонанса при ходьбе человека / **А.В. Саранцев, А.С. Витензон** // *Протезирование и протезостроение. Сб. трудов*. – 1973. – Вып. 31. - М.: ЦНИИПП. - С. 62-71.
  27. **Витензон, А.С.** К фазовому анализу ходьбы и некоторых ритмических движений человека / **А.С. Витензон, К.А. Петрушанская** // *Российский журнал биомеханики*. – 2005. -Т.9- №1- С. 19-35.
  28. **Марийчук, И.Ф.** Энергозатраты членов аварийно-спасательных подразделений / **И.Ф. Марийчук, О.В. Папазова, А.А. Онасенко, А.А. Гаврилко** // *Горноспасательное дело*. – 2011.- Вып. 48- С. 172-181.
  29. **Пристром, М.С.** Артериальная гипертензия у пожилых: особенности терапии и реабилитации / **М.С. Пристром, С.Л. Пристром, В.Э. Сушинский**. - Минск: Беларус. Наука, 2012.- 267 с.
  30. Физиология человека. Учебник для институтов физической культуры. **Под.ред. Н.В. Зимкина**. - М.: Физкультура и спорт, 1975. – 496 с.
  31. **Кипенский, А.В.** Анализ динамической погрешности измерения среднего значения частоты сердечных сокращений / **А.В. Кипенский, В. В. Куличенко, Р. С. Томашевский, Е. Ю. Демидова** // *Вісник НТУ «ХПИ»*. *Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – X. : НТУ «ХПИ», – 2013. - № 18 (991). – С. 143-148.

## Bibliography (transliterated)

1. **Saria, M., Sevtap Selcukb, A., Karpuzc, C., Sebnem, H., Duzgunc, B.** Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey // *Safety Science*, 2009, V. 47, Issue 1, 78–87. doi:10.1016/j.ssci.2007.12.004.



2. **Mahdevari, S., Shahriar, K., Esfahanipour, A.** Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS // *Science of The Total Environment*, 2014, V. **488–489**, 1, 85–99. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.076.
3. **Wua, L., Jianga, Z., Chengb, W., Zuoc, X., Lvb, D., Yaob, Y.** Major accident analysis and prevention of coal mines in China from the year of 1949 to 2009 // *Mining Science and Technology (China)*, 2011, V. **21**, Issue 5, 693–699. doi: 10.1016/j.mstc.2011.03.006.
4. **Rumezhak, O. N.** Sostojanie i problemy promyshlennoj bezopasnosti na gornodobyvajushhijh predpriyatijah Ukrainy [The state and problems of industrial safety at the mining enterprises of Ukraine] // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2010, **2**, 36–39.
5. **Churikanova, O. Yu.** Ekonomichna skladova analizu chynnykiv travmatyzmu na vuhil'nykh shakhtakh Ukrayiny [Economic component of the analysis of the on-the-job injury rate determinants in coal mines of Ukraine] // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2012, **2**, 139–145.
6. **Negrej, T. A.** O bezopasnosti truda gornorabochih pri vypolnenii osnovnyh proizvodstvennyh operacij [About work safety of miners in implementations of main production activities] // *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu*, 2016, №1 (38), 84–94.
7. **Negrej, T. A.** Issledovanie uslovij truda shahterov privyopolnenii osnovnyh proizvodstvennyh processov operacij [Study of working conditions of miners at implementation of main industrial processes] // *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu*, 2016, №2 (39), 108–116.
8. **Gryadushchij, B. A.** Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory podzemnoj dobychi uglja v tekhnologicheskome, social'nom i ehkologicheskom aspektah [Dangerous and harmful production factors of underground coal mining in technological, social and environmental aspects]. - Doneck: CBNTI ugol'n. prom., 1994. - 158 s.
9. Avarijnost' na ugol'nyh shahtah Ukrainy v 1998-1999 godah [Accidents at coal mines Ukraine in 1998-1999]. Obzor. - Doneck: NIIGD. - 2000. - 47 s.
10. **Shevchenko V. G.** Razrabotka nauchno-metodicheskijh principov povyshenija gotovnosti sistem „gornorabochie – ochistnoj kompleks“ k vysokoproizvoditel'noj i bezopasnoj rabote [Development of scientific-methodical principles of increase of systems colliers – longwall set of equipment readiness to high-performance and safe work] // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2010, **9**, 88–93.
11. **Sari M., Duzgun, H.S.B., Karpuz, C., Selcuk, A.S.** Accident analysis of two Turkish underground coal mines // *Safety Science*, 2004, №42, 675–690.
12. **Page, K.** Blood on the coal: The effect of organizational size and differentiation on coal mine accidents // *Journal of Safety Research*, 2009, **40**, 2, 85–95.
13. **Paul, P. S., & Maiti, J.** The role of behavioral factors on safety management in underground mines // *Safety Science*, 2007, **45**(4), 449–471. doi:10.1016/j.ssci.2006.07.006.
14. **Browne, R. C.** Safety and health at work: The Robens Report // *British Journal of Industrial Medicine*, 1973, **30**(1), 87–91. doi:10.1136/oem.30.1.87.
15. **Pugach, I.I., Podkopaev, S.V., Iordanov, I.V., Chepiga, D.A.** Issledovaniya ustojchivosti bokovyh porod v slozhnyh gorno-geologicheskijh uslovijah [Investigation of the stability of wall rocks in difficult mining and geological conditions] // *Vestnik NTU «HPI», Seriya: Novye resheniya v sovremennyh tekhnologiyah*, Har'kov: NTU «HPI», 2016, № **42** (1214), S. 111–116, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.
16. Derzhavni sanitarni normi ta pravila «Gigienichna klasifikacija praci za pokaznikami shkidlivosti ta nebezpechnosti faktoriv virobничого середовища, vazhkosti ta napruzhenosti trudovogo procesu» [State sanitary standards and regulations "Hygienic classification of work in terms of hazard and danger environment factors, severity and intensity of the work process"] // *Zatv. Nakazom MOZ Ukraїni №248 vid 08.04.2014.*
17. Issledovat' usloviya primeniya razlichnyh tipov respiratorov privedenii gornospasatel'nyh robot i razrabotat' Konceptiyu zashchity organov dyhaniya gornospasatelej [Investigate the conditions for the application of various types of respirators in the conduct of rescue work and develop a concept for the protection of respiratory organs of mine rescuers] / *Otchet po 2 etapu NIR, NPO «Respirator», Doneck, 1994.* - 26 s.
18. Rukovodstvo po fiziologii truda [Occupational Physiology Guide] / Pod red. **Z.M. Zolinoj, N.F. Izmerova.**-M.: Medicina, 1983, 528 s.
19. **Garry, R. C., Passmore, R., Warnock Grace, M., Durnin, J. V. G. A.** Studies on Expenditure of Energy and Consumption of Food by Miners and Clerks, Fife, Scotland, 1952 // *Medical Research Council Special Report Series No. 289.* London: H.M. Stationery Office. 1955.- 70 p.
20. **Solonin, YU.G., Maslencova, S.N., Kuznecova, Z.M.** Vozrastanie osobennostej nekotoryh fiziologicheskijh funkcij v processe raboty u lic tyazhelogo fizicheskogo truda [Ascending features of some physiological functions of persons in conditions of hard physical labor] // *Fiziologiya cheloveka.* 1981.- **2**, №2.- S. 221-228.
21. **KD 12.01.01.503-2001.** Upravlenie krovlej i kreplenie v ochistnyh zaboyah na ugol'nyh plastah s uglom padeniya do 35° [Control of the roof and fixing in longwall of coal seams with an angle of incidence up to 35 degrees]. Rukovodstvo, Kiev, 2002.- 141 s.
22. **Golovkova, N.P., Chebotaryov, A.G., Kaledina, N.O., Helkovskij-Sergeev, N.A.** Ocenka uslovij truda, professional'nogo riska, sostoyaniya professional'noj zabolevaemosti i proizvodstvennogo travmatizma rabochih ugol'noj promyshlennosti [Assessment of working conditions, occupational risk, the state of occupational morbidity and occupational injuries of workers in the coal industry]// *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)*, 2011, №57, 9-40.
23. **Chebotaryov, A.G., Matyuhin, V.V.** Tyazhest' i napryazhyonnost' truda rabotnikov pri dobyche poleznyh iskopaemyh, mery profilaktiki [The severity and intensity of labor of workers in the extraction of minerals, prevention measures]// *Zhurnal "Gornaya Promyshlennost"*, 2013, №4 (110), 66.
24. **Cuglenok, N.V., Caj, YU.T.** Metodika rascheta energozatrat rabotayushchih na tushenii lesnyh pozharov [The methodology for calculating of the energy expenditure of people working on extinguishing forest fires] // *Vesnik KrasGAU*, 2005, №11, 227-230.
25. **Rönz, B., Förster, E.** Regressions und Korrelationsanalyse: Grundlagen - Methoden - Beispiele - Wiesbaden: Gabler, 1992.-365 s.
26. **Sarancev, A.V., Vitenzon, A.S.** YAvleniya rezonansa pri hod'be cheloveka [The phenomena of resonance in human walking] // *Protezirovanie i protezostroenie. Sb. Trudov*, 1973, **31**, M.: CNIIPP, 62-71.
27. **Vitenzon, A.S., Petrushanskaya, K.A.** K fazovomu analizu hod'by i nekotoryh ritmicheskijh dvizhenij cheloveka [Phase

- analysis of walking and some rhythmical motions of a man] // *Rossijskij zhurnal biomekhaniki*, 2005, **9**, №1, 19-35.
28. **Marijchuk, I.F., Papazova, O.V., Onasenko, A.A., Gavrilko, A.A.** Energozatraty chlenov avarijno-spasatel'nyh podrazdelenij [The energy expenditure of members of rescue units] // *Gornospasatel'noe delo*, 2011, **48**, 172-181.
29. **Pristrom, M.S., Pristrom, S.L., Sushinskij, V.EH.** Arterial'naya gipertenziya u pozhilyh: osobennosti terapii i reabilitacii [Arterial hypertension of the older persons: features of therapy and rehabilitation] - Minsk: Belarus. Navuka, 2012.- 267 s.
30. Fiziologiya cheloveka. Uchebnik dlya institutov fizicheskoj kul'tury [Human physiology]. **Pod. red. N.V. Zimkina**, M.: Fizkul'turai sport, 1975, 496 s.
31. **Kipenskij, A.V., Kulichenko, V.V., Tomashevskij, R.S., Demidova, E.YU.** Analiz dinamicheskoj pogreshnosti izmereniya srednego znacheniya chastoty serdechnyh sokrashchenij [Analysis of dynamic measurement error of the mean value of heart rate] // *Visnik NTU «HPI». Seriya: Novi rishennya v suchasnihih tekhnologiyah*, H. :NTU «HPI», 2013, № **18** (991), 143-148.

## Відомості про авторів (About authors)

**Негрій Тетяна Олександрівна** – здобувач кафедри «Охорона праці», старший викладач кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, Україна; e-mail: taalne@mail.ru.

**Tetiana Nehrii** – Applicant, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: taalne@mail.ru.

**Сахно Іван Георгійович** – доктор технічних наук, професор кафедри «Охорона праці», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, Україна; e-mail: sahno\_i@mail.ru.

**Ivan Sakhno** – Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), Professor, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: sahno\_i@mail.ru.

**Негрій Сергій Григорович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, Україна; e-mail: serhii.nehrii@donntu.edu.ua.

**Serhii Nehrii** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: serhii.nehrii@donntu.edu.ua.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Негрій, Т. О.** Вплив енерговитрат шахтарів на рівень безпеки праці / **Т. О. Негрій, І. Г. Сахно, С. Г. Негрій** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» . – 2017. – № 7 (1229) . – С. 81-90. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.11.

*Please cite this article as:*

**Nehrii, T., Sakhno, I. and Nehrii, S.** The influence of the energy expenditure on the miners` safety level. *Bulletin of NTU KhPI.Seris: New solutions in modern technologies*, Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, № **7** (1229), 81–90, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.11.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Негрей, Т. А.** Влияние энергозатрат шахтеров на уровень безопасности труда / **Т. А. Негрей, И. Г. Сахно, С. Г. Негрей** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ» . – 2017. – № 7 (1229) . – С. 81-90. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.11.

**АННОТАЦИЯ** Обосновывается необходимость учета энергетических затрат организма шахтеров при выполнении ими операций (подопераций) в рамках производственного процесса с целью разработки безопасных технологических схем ведения горных работ. Получены зависимости энергозатрат организма горнорабочего при его перемещениях в горных выработках, как с грузом, так и без него, с учетом основных факторов. Установлена зависимость энергетических затрат организма горнорабочего от частоты сердечных сокращений, использование которой позволит оперативно оценивать тяжесть труда шахтеров и корректировать график организации работ с учетом физиологических возможностей исполнителей. Обоснована необходимость проведения дополнительных исследований по оценке энергетической стоимости работ в различных звеньях технологического процесса. Планируется дальнейшее изучение физиологии труда шахтеров при выполнении ими производственных операций: добыче угля, проведении и ремонте выработок, транспортировке грузов, обслуживании и ремонте оборудования и т.д.

**Ключевые слова:** безопасность труда; условия труда; энергетические затраты; корреляция; операции; производственный процесс

*Поступила(received) 10.03.2017*