

УДК 622.8: 614.8: 331.452

Т.О. НЕГРІЙ, ст. викладач, С.Г. НЕГРІЙ, канд. техн. наук, доц., С.В. РІХЕРТ, магістрант
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Україна

ПРО ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ГІРНИКІВ НА РІВЕНЬ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

Мета. Метою статті є встановлення впливу енергоємності робіт на рівень травматизму при виконанні операцій в рамках виробничого процесу.

Методи дослідження: фізіологічні методи вивчення трудових процесів: хронометраж робочого дня, методи дослідження нервово-м'язового апарату, дослідження зовнішнього дихання і газообміну, методи дослідження серцево-судинної системи.

Наукова новизна. Новизна роботи полягає у розробці наукових засад щодо оптимізації графіків організації робіт з урахуванням фізичних можливостей гірників. З використанням результатів розрахунку енергетичних витрат гірників, на основі встановлених залежностей та вимірювань частоти серцевих скорочень у шахтарів, при виконанні підоперацій були визначені сумарні енерговитрати при виконанні комплексу робіт, які передували травмуванню їх виконавцю.

Практична значимість. На конкретному прикладі здійснено обґрунтування необхідності врахування психофізіологічних умов праці при проектуванні безпечних технологічних схем ведення гірничих робіт, які б враховували режими праці-відпочинку працівників.

Результати. Встановлено взаємозв'язок між показниками важкості праці та рівнем виробничого травматизму, що є підґрунтям для подальшого вивчення фізіології праці гірників задля забезпечення більш комфортних та безпечних умов праці.

Ключові слова: травматизм, умови праці, енергетичні витрати, графік організації робіт, працездатність, компенсаційний відпочинок.

Постановка проблеми. Виробничий травматизм у вугільній галузі України з 1993 по 2014 р. при зменшенні обсягу виробництва в 2,1 рази зменшився в 5,07 рази [1]. Але, незважаючи на це, вугільна промисловість залишається лідером серед інших галузей за найвищим рівнем виробничого травматизму. Велика частина травм, отриманих в підземних виробках шахт (75,7%), пов'язана з чотирма небезпечними виробничими факторами: зсуви і обвалення - 31,4%; транспорт і підйом - 29,1%; машини та механізми - 8,1%; вибухи газу і пилу - 7,1% [1]. До цього переліку варто додати травмування від падінь людей і предметів, на які сумарно припадає близько 7,6% випадків. В таких умовах питання забезпечення оптимальних умов праці шахтарів є вельми актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій. З погіршенням гірничо-геологічних умов розробки та збільшенням навантаження на лаву все частіше виникають різні аварійні ситуації. Причому, результати їх розслідувань, аналіз обставин і причин вказують на те, що все рідше відзначаються відмови машини й обладнання, а все частіше основною причиною аварій є людський фактор [2-6]. Але, не завжди, нещасні випадки, причиною яких зазначається людський фактор, відбуваються з провини робітника. Іноді працівникові складно оцінити ситуацію на робочому місці внаслідок наявності безлічі відволікаючих і маскуючих факторів (шум, запиленість та ін.), його психофізіологічного стану, зумовленого інтенсивністю і важкістю виконання операцій протягом робочої зміни. Людина починає допускати помилок в роботі, втрачає можливість стежити за обстановкою. Тоді основною причиною травмування робочого є недосконалі умови праці, які залежать від застосовуваних технологій, мікрокліматичних умов, ергономіки робочих місць, якості організації робіт і т.д. Важкі та напружені умови праці, особиста втома «провокують» гірника на спрощення операцій за рахунок зневаги вимогами правил безпеки і розпорядчих нормативних документів [1].

Постановка завдання. Встановити вплив фізичних можливостей гірників при виконанні операцій в рамках виробничого процесу на рівень виробничого травматизму досить складно. З цього питання існує обмежена кількість досліджень і здебільшого це роботи в області фізіології праці [7-10]. Тому необхідне встановлення впливу енергоємності робіт на рівень травматизму при виконанні операцій в рамках виробничого процесу.

Викладення матеріалу та результати. До основних технологічних процесів гірничого виробництва відносяться «Виймання вугілля в очисному вибої» і «Проведення гірничої виробки» [11]. Вони графічно зображуються у вигляді планогам або графіків організації робіт. Кожна

ня певних операцій та їх тривалість, можна встановити інтенсивність енерговитрат організму й оцінити важкість праці для конкретного робочого. Сумарні енерговитрати працівника (E_T , Ккал) при виконанні операції або їх сукупності, що складають певний виробничий цикл тривалістю T визначаються виразом

$$E_T = \sum_{i=1}^n (N_i t_i), \quad (1)$$

де t_i – тривалість виконання i -тої операції (підоперації), хв.,
а середньозважені витрати енергії на виконання виробничого циклу (N_T , Ккал/хв.) з урахуванням вимушених перерв, складуть

$$N_T = \frac{k_w \sum_{i=1}^n (N_i t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (2)$$

де k_w – коефіцієнт щільності робочого часу [8].

Таким чином, для певного графіку організації робіт з виразу (2) можна розрахувати середньозважені енергетичні витрати за кожною підоперацією з урахуванням вимушених перерв.

Для визначення енергетичних витрат організму застосовуються такі способи розрахунку, як [8, 10]: визначення зменшення енергетичних ресурсів організму; вимір продукції тепла; розрахунок величини кисневого запиту; визначення кількості роботи, що витрачається при виконанні виробничих операцій, упродовж певного проміжку часу; розрахунок енерговитрат за частотою серцевих скорочень. Так чи інакше в деяких працях було визначено енергетичні витрати при виконанні окремих операцій. Було встановлено, що середній рівень енерговитрат гірників очисного вибою за зміну становить 4,4-6,4 Ккал/хв., найбільші енерговитрати будуть при ручному прибиранні гірничої маси в вибоях (відповідно, 7,4 і 10,3 Ккал/хв.) [12]. Середня величина енерговитрат у гірників при ходьбі по штреку складає 4,1-10 Ккал/хв.

Втрати енергії на підняття та опускання вантажу з [8, 13] можуть бути визначені формулою

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

де N_i – енергетичні витрати організму, ккал/хв., m – маса вантажу, кг, t_i – час виконання операції, хв., h_n , h_o – відповідно, висота підняття та опускання вантажу, м, g – прискорення вільного падіння, м/с², l – відстань переміщення вантажу по горизонталі, м.

За результатами праць [10,14] оцінено спільний вплив кута нахилу гірничих виробок β (град.) та швидкості ходьби v (м/с) при пересуванні робочих по цим виробкам на енерговитрати організму N_b та з урахуванням маси вантажу, який може переміщуватись працівником. Була встановлена емпірична залежність

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

де M_z та M_0 – відповідно, маси вантажу та тіла людини, кг.

Також залежності було отримано для визначення витрат при пересуванні гірників по очисному вибою у різних перехідних положеннях тіла:

по-пластунськи: $N_{oc} = 5,27 - 10,3 \sin^2 2\alpha + 9,07V^2 + 11,61 \sin 2\alpha + 9,49V$; (5)

навкарачки: $N_{oc} = 9,97 - 5,2 \sin^2 2\alpha - 98,44V^2 + 2,71 \sin 2\alpha + 31,81V$; (6)

напівзігнувшись: $N_{oc} = -1,61 + 5,4 \sin^2 2\alpha - 0,31V^2 + 4,53 \sin 2\alpha + 10,72V$. (7)

Наведені вище залежності дозволяють визначати енергетичні витрати для обмеженої кількості операцій В деяких працях [8, 16] отримані енерговитрати за поодинокими роботами. Визначити енергетичні витрати робітника за іншими операціями можна за частотою серцевих скорочень (ЧСС). За фізіолого-ергонометричними характеристиками праці шахтарів з [8-10] отримаємо залежність енерговитрат N від ЧСС, яка має вигляд

$$N = 0,149 \text{ ЧСС} - 10,68. \quad (8)$$

Але для використання цієї залежності необхідне проведення вимірювань частоти серцевих

скорочень у гірників при виконанні певних операцій. Тому в умовах шахт ДП «Селидіввугілля» та ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» здійснювались вимірювання ЧСС у гірників при виконанні ними різних робіт, від спуску їх у стволі, пересування по виробкам до виймання вугілля відбійними молотками, перенесення елементів кріплення, тощо. Деякі результати розрахунку енергетичних витрат за результатами вимірів ЧСС наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати визначення енерговитрат організму шахтаря при виконанні окремих операцій	
Найменування робіт	Середня величина енерговитрат, Ккал/хв.
Відбивання вугілля відбійним молотком у ніші	6,0
Прибирання вугілля лопатою у положенні стоячи	5,9
Перекидання вугілля лопатою у положенні на колінах	5,9
Відбивання породи відбійним молотком у положенні стоячи	10,9
Зачищення підосви виробки лопатою	6,9
Перекидання породи лопатою у положенні стоячи	10,1
Встановлення дерев'яних стійок у лаві	8,5
Перенесення дерев'яних стійок по виробці	9,0
Встановлення дерев'яних стійок підсилення у виробці	8,1
Перенесення дерев'яного бруса	6,9
Затягування закріпного простору дерев'яною затяжкою	2,8
Перетягування ніжки аркового кріплення по підосві	9,5
Установлення ніжки аркового кріплення	5,7
Затягування замкових з'єднань кріплення	6,9
Розкріплення замкових з'єднань кріплення	6,1

Цей масив даних та встановлені залежності (3)-(7) можуть бути використані для визначення важкості робіт, що виконуються у рамках виробничих процесів, з метою подальшого оперативного корегування умов праці шахтарів та забезпечення їх допустимих параметрів. На прикладі виробничого процесу, що був розглянутий раніше (рис. 1), можна оцінити енергетичну вартість робіт, при виконанні яких були травмовані працівники. За даними таблиці 1 здійснено розрахунок енергетичних витрат за цими операціями (підопераціями).

Для графіка (рис. 1) показник N_T змінюється від 3,1 до 13,3 ккал/хв., але умовна межа важкості безперервної роботи без відпочинку для працездатних чоловіків складає 4,2 ккал/хв., що свідчить про те, що переважно мають місце роботи, при яких допустимий показник енерговитрат перевищено. Якщо порівняти сумарні фактичні витрати енергії при виконанні підоперацій з їх допустимим значенням, згідно Гігієнічної класифікації праці [16], то їх співвідношення може бути охарактеризоване коефіцієнтом відносної інтенсивності праці [17]

$$k_i = \frac{N_T}{4,2}, \quad (9)$$

де 4,2 – умовна межа важкості безперервної роботи без відпочинку для працездатних чоловіків, ккал/хв.

У випадках, коли $k_i \geq 1$, умови праці відносяться до шкідливих, інакше - робітник виконує свої обов'язки в оптимальних та допустимих умовах. Тому для забезпечення безпечних і комфортних умов праці обов'язкове виконання умови

$$k_i < 1 \quad (N_T < 4,2). \quad (10)$$

Як бачимо з рис. 1, перевищення допустимого показника енерговитрат при виконанні комплексу робіт, що передувало отриманню травм, склало від 7 до 75% (в середньому 33%). Показовими є випадки, які відбулися у II та IV зміни, коли було отримано травми на початку зміни. Перша, п'ята та шоста події (в порядку їх нанесення на графік від початку II-ої зміни) мали місце, коли виконувались роботи з перевищенням граничної норми у середньому в 2,1 рази. Це доказ того, що рівень травматизму залежить від умов праці робочих, які регламентовані графіком організації робіт. Стівідсотково стверджувати про те, що саме важкість праці була причиною травмувань буде неправильним, тому що є багато факторів, які на це могли вплинути. Але ж стверджувати зворотне, що важкість праці не вплинула рівень травматизму, також буде помилковим. Підоперації, що наведені на рис. 1, виконувались вручну, мали велику трудомістких операцій, та характеризувались надмірною інтенсивністю праці. Це обтяжуючі чинники, які вплинули на результат.

Для уникання таких подій є потреба у впровадженні технологічних або організаційних за-

ходів. Для цього необхідно або зміна трудомісткої технології кріплення сполучення лави (наприклад, застосування механізованого кріплення сполучення), або збільшення кількості працівників при виконанні операції, або планування перерв на компенсаційний відпочинок. Будь-яке з цих рішень потребує техніко-економічного обґрунтування. Більш ефективним, на нашу думку, було б планування перерв на відпочинок, тому що періодичні планові перерви протягом зміни дозволяють досягти найбільшої продуктивності праці.

Виконання умови (10) безпосередньо залежить від працездатності людини - показника, який характеризує її здатність підтримувати необхідний рівень роботи протягом певного проміжку часу при високих якісних показниках трудової діяльності. Для гірників варто говорити про фізичну працездатність, де визначальними факторами є тренуваність і вроджені здібності людини, вік, стать, загальний стан здоров'я, емоційна стійкість, конституція і м'язова маса, а також вплив навколишнього середовища (наприклад, час дня, температура, вміст кисню в повітрі, зручність і освітленість робочого місця).

Працездатність людини впродовж робочої зміни характеризується такими фазами [18]: I- перед робочий стан, II- впрацюваність, III- стійка працездатність, IV- період втоми, V- період зростання продуктивності після відпочинку, VI- період прогресивного зниження працездатності, VII- період відновлення. Всі ці фази протягом зміни мають місце, коли буде передбачений відпочинок робітників в процесі виконання обов'язків, інакше все обмежиться I-IV фазами. Для різних категорій по тяжкості роботи тривалості цих фаз будуть різні, причому для легкої роботи протягом зміни все може обмежитися I-III фазами (рис. 2).

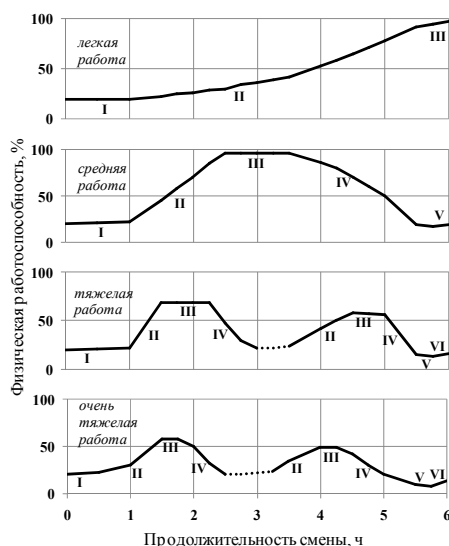


Рис. 2. Графіки зміни працездатності робітника протягом шестигодинної зміни в залежності від важкості виконуваних робіт (пунктирною лінією показаний перерву для відпочинку)

Для інших категорій ці фази можуть повторюватись декілька разів, в залежності від кількості і тривалості перерв на відпочинок. Якщо розглядати дані графіки з точки зору безпеки виконання робіт, то найбільш небезпечною є IV фаза, тому що в цей час організм знаходиться в стані, коли відчувається яскраво виражене відчуття втоми, знижується продуктивність, сповільнюється швидкість реакції, з'являються помилкові і невчасні дії, фізіологічна втома. Тоді необхідна перерва на компенсаційний відпочинок, тривалість і характер якої визначається тяжкістю виконуваних робіт і по відношенню до часу фактичного виконання роботи ($BO, \%$) визначається за формулою [8]

$$BO = \left(\frac{N_T}{4,2} - 1 \right) 100\%, \quad (17)$$

тому вираз, щодо визначення тривалості перерви на відпочинок (t_r , хв.), буде мати такий вигляд

$$t_r = \left(\frac{N}{4,2} - 1 \right) t_w, \quad (18)$$

де t_w – тривалість виконання роботи, хв.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Узагальнення результатів досліджень з фізіології людини при фізичних навантаженнях і трудовій діяльності дозволяє нам зробити висновки про те, що безпека праці гірників істотно залежить від енергоємності робіт і часу відпочинку. Довести дане твердження можливо встановленням взаємозв'язку між травматизмом при виконанні енергоємних операцій і показниками важкості трудового процесу, що й було показано на прикладі конкретного виробничого процесу.

Майже всі нещасні випадки можуть бути пов'язані з працездатністю та втомою працівника, але у подальших дослідженнях, на нашу думку, варто розглянути випадки щодо травмування

робітників при їх падінні та падінні предметів при переміщенні, тому що вони в більшій мірі пов'язані з фізичною здатністю людини.

Взагалі ж мета, яка була визначена у цій статті була досягнута і ці результати досліджень можуть бути підґрунтям для подальшого вивчення фізіології праці гірників задля забезпечення більш комфортних та безпечних умов праці.

Список літератури

1. **Долженков, А.Ф.** Анализ основных направлений создания безопасных условий труда рабочих угольных шахт / **А.Ф. Долженков, Т.А. Негрей** // Вісті Донецького гірничого інституту / Красноармійськ 2015, №1(36)-2(37), – С. 123-129.
2. **Шевченко, В.Г.** Разработка научно-методических принципов повышения готовности систем „горнорабочие – очистной комплекс“ к высокопроизводительной и безопасной работе / **В.Г. Шевченко** // Науковий вісник НГУ, 2010, № 9. – С. 88-93.
3. **Paul, P. S., & Maiti, J.** (2007). The role of behavioral factors on safety management in underground mines. *Safety Science*, 45(4), 449–471. doi:10.1016/j.ssci.2006.07.006.
4. **Булат, А.Ф.** Методичне забезпечення визначення готовності систем «гірники – очисний комплекс» до підвищення безпеки вуглевидобутку / **А.Ф. Булат, В.Г. Шевченко** // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №7-8. – С. 113-118.
5. **Касьянов, М.А.** Визначення межі фізичного навантаження на людину за споживанням нею кисню / **М.А. Касьянов, В.О. Медяник, О.О. Андріанова, І.В. Савченко** // Сб.научн.тр.МакННІІ по безоп.работ в горн.пром-ти «Спос.и средст.созд.безоп.и здор. условий труда в угольн.шахтах». – Макеевка – Донбасс: МакННІІ, 2009. – Ч.1. – С. 162-170.
6. **Ковшевний, А.П.** Формализм – основная причина производственного травматизма / **А.П. Ковшевний, А.В. Васильев, В.Л. Шкригун** // Уголь Украины. – 2002. – №6. – С. 29-32.
7. **Browne, R. C.** (1973). Safety and health at work: The Robens Report. *British Journal of Industrial Medicine*, 30(1), 87–91. doi:10.1136/oem.30.1.87.
8. **Руководство по физиологии труда** / Под ред. **З.М. Золиной, Н.Ф. Измерова**. – М.: Медицина, 1983, 528с.
9. **Солонин, Ю.Г.** Возрастание особенностей некоторых физиологических функций в процессе работы у лиц тяжелого физического труда / **Ю.Г. Солонин, С.Н. Масленцова, З.М. Кузнецова** // Физиология человека. 1981.- т.2, №2.- С. 221-228.
10. 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.
11. **Негрей, Т.А.** О безопасности труда горнорабочих при выполнении основных производственных операций/ **Т.А. Негрей** // Вісті Донецького гірничого інституту / Покровськ, 2016, №1(38), – С. 84-94.
12. **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.
13. **Цугленок, Н.В.** Методика расчета энергозатрат работающих на тушении лесных пожаров / **Н.В. Цугленок, Ю.Т. Цай** // ВесникКрасГАУ. - 2005.- №11.- С. 227-230.
14. **Марийчук, И.Ф.** Энергозатраты членов аварийно-спасательных подразделений / **И.Ф. Марийчук, О.В. Папазова, А.А. Онащенко, А.А. Гаврилко** // Горноспасательное дело. 2011.-Вып. 48- С. 172-181.
15. **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 (<http://mining-media.ru/ru/article/prombez/4679-tyazhest-i-napryazhjonnost-truda-rabotnikov-pri-dobyche-poleznykh-iskopaemykh-meru-profilaktiki>)
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. **Бухалков, М.И.** Внутрифирменное планирование: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 392с.
18. **Кукин, П.П.** Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учеб. пособие / П.П. Кукин. – М: Высшая школа, 2002. - 319 с.

Рукопис подано до редакції 15.04.17