

11. Визначення геологічної будови, фізико-механічних властивостей та структурних особливостей масиву та визначення граничних кутів укусу бортів та уступів кар'єрів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»: звіт про НДР / КНУ НДГРІ. – Кривий Ріг, 2023.

12. Пояснювальна записка до виробничої програми гірничого департаменту на 2023 рік. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – Кривий Ріг, 2022. – 93 с.

13. **Луценко С.О.** Дослідження впливу продуктивності кар'єру за рудою і параметрів системи розробки на інтенсивність відпрацювання родовища / С.А. Луценко, С.А. Жуков // Збірник наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2019. - №58. - С. 68 - 75.

14. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 2. Відкриті гірничі роботи. СОУ - Н МПП 73.020-078-2: 2008.

Рукопис подано до редакції 27.03.24

УДК 622.342.: 622.276

Г. І. ТКАЧЕНКО, Т. М. КОВАЛЬЧУК, кандидати техн. наук, доцентки,
М. В. МИХАЙЛЕНКО, магістрантка, Криворізький національний університет

ВПЛИВ ЯКОСТІ ПОДРІБНЕНОЇ ГІРНИЧОЇ МАСИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ

Мета. Метою даної роботи є розроблення методики, яка дозволяє оперативного встановлювати залежність виробничих витрат на основні технологічні процеси гірничо-добувного виробництва від оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси. Враховуючи те, що інтегральним показником кускуватості або гранулометричного складу є середній розмір куска гірничої маси в розвалі, використання даної методики дозволяє спрогнозувати та підвищити ефективність буро вибухових робіт на кар'єрах шляхом зниження витрат на виконання вантажно-транспортних робіт і додаткового подрібнення.

Методи дослідження. Поставлені в статті завдання базуються на комплексному методі досліджень, що включає: аналіз науково-дослідних робіт по буро вибуховим роботам на залізородних кар'єрах Кривбасу та їх моніторингу; результати інженерно-геологічних вишукувань залізородного родовища, використання емпіричних законів вибухових робіт; комп'ютерні технології й обчислювальні програми; оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексному підході до розроблення методики, яка дозволяє оперативного встановлювати емпіричні залежності виробничих питомих витрат на основні технологічні процеси в залізородному кар'єрі від оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси. Доведено, що залежність суми питомих витрат на реалізацію розглянутих технологічних процесів від кускуватості має вигляд параболічної функції, точкою екстремуму якої є оптимальний діаметр середнього розміру куска підірваної гірничої маси.

Практичне значення. Отримані емпіричні залежності питомих витрат на: - буро вибухові роботи; руйнування негабариту; - на екскавацію; - на транспортування від середнього розміру куска підірваної гірничої маси дозволяють доповнити існуючі практичні рекомендації та надають реальні передумови щодо оптимізації технологічних процесів на кар'єрах Кривбасу.

Результати. Розроблено методику оперативного встановлення залежностей витрат на основні технологічні процеси гірничо-добувного виробництва від оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси, яка спрямована на підвищення ефективності буро вибухових робіт на кар'єрах шляхом зниження витрат на виконання вантажно-транспортних робіт і додаткового подрібнення.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, вибухові роботи, подрібнення негабариту, кускуватість, питомі витрати, середній розмір куска підірваної гірничої маси

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-83-88

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний етап розвитку видобутку та переробки скельних порід характеризується бажанням підвищити ефективність технологічних процесів за рахунок більш якісного подрібнення гірських порід. Специфічною особливістю вибухових процесів у гірництві є те, що досліджуються процеси техногенного походження. При розробці залізородних родовищ, 80-90% гірничої маси представлено скельними породами, яку необхідно додатково дробити. Якість ведення вибухових робіт у гірництві визначається кускуватістю підірваної гірської породи, яка в значній мірі визначає змінну продуктивність гірничого та дробильного обладнання, обсяги добичі кар'єру, ритмічність роботи гірничо-добувного підприємства, продуктивність праці, собівартість залізної руди. Інтегральним показником кускуватості або гранулометричного складу є середній розмір куска гір-

ничої маси в розвалі. Даним параметром прийнято на практиці визначати техніко-економічні показники екскавації, транспортування та первинного подрібнення гірничої маси на кар'єрах.

Тому, на думку авторок цієї статті, розроблення методики, яка дозволяє оперативно встановлювати залежність витрат на основні технологічні процеси від оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси, представляє практичний і науковий інтерес.

Аналіз досліджень і публікацій. Незважаючи на те, що питанню вибухових робіт на кар'єрах присвячено багато фундаментальних праць [1, 2] та великий комплекс науково-дослідних і практичних робіт [3 - 9], основною перешкодою на шляху зниження собівартості видобутої залізної руди є нерівномірне подрібнення, яке супроводжується значним виходом крупних кусків гірничої породи, тобто негабариту.

Виконаними дослідженнями встановлено, що найбільш енергоємними в кар'єрах є процеси середнього дроблення, питомі енерговитрати на які досягають 94,2 %. Решта 5,8 % займають: енерговитрати на буріння свердловин 0,4 %; вибухове руйнування масиву 4,9 %; механічне дроблення негабариту 0,5 % [11].

Тому управління якістю подрібнення з метою зниження собівартості залізорудної продукції є однією з найважливіших практичних задач. Найвагоміший внесок у вирішенні цих задач належить відомим криворізьким ученим: В.Ф. Бизову, Ю.П. Капленку, В.О. Колосову, В.В. Мецу Ю.С., В. В. Перегудову, П.Й. Федоренку, О.В. Шапуріну та ін.

У вітчизняних наукових працях багато робіт присвячено пошукам необхідної енергії, заряду для отримання гірничої маси заданої кускуватості під час висадження скельних гірських порід [4 –10]. Обґрунтовані та удосконалені вибухові речовини, розроблені раціональні схеми монтажу сітки свердловинних зарядів, їх конструкції, методи розрахунку параметрів вибухових робіт, але як показано в роботах [8,14] є кар'єри, для яких об'єм кусків, що перевищують кондицію за крупністю, складає 15-20 % від загальних обсягів підірваної гірничої породи.

Практично була доведена можливість регулювання ступеня дроблення порід за допомогою питомої енергії заряду вибухової речовини за будь-якого діаметра заряду. Забезпечення габаритності шматків відбитої породи потребує різноманітних методів ведення вибухових робіт, що визначається технологічною і економічною доцільністю. Так метод свердловинних зарядів при ініціюванні знизу дозволяє зниження виходу негабариту на 6–10 % і на 10–12 % – загальних витрат на проведення бурі вибухових робіт [5,15]. Технологічні фактори мають вплив на результати якості подрібнення відбитої породи, але теорія гірничої справи ще не має однозначного рішення проблеми визначення оптимальних лінійних розмірів кусків висадженої гірничої маси в розвалі.

В роботі [12] наведено ряд емпіричних формул, розроблених автором, які дозволяють спрогнозувати значення лінійних розмірів середніх кусків висадженої гірничої маси в розвалі, але всі вони містять розмір середнього структурного блоку в масиві, який важко визначити з високою точністю натурними вимірюваннями. Для уточнення його розмірів пропонується на різних ділянках кар'єрів регулярно виконувати натурні вимірювання, а при екскавації гірничої маси встановлювати кількість негабаритних кусків на 1000 м³ відвантаженої породи. Результат при цьому виявляється дробовим. В сучасних умовах використання таких методів для оперативного управління технологічними процесами на кар'єрах не зовсім доцільно, так як відсутня можливість врахувати всі фактори, які впливають на оцінку гранулометричного складу гірничої маси після вибуху. В роботі [13] встановлені залежності експлуатаційної продуктивності екскаватора ЕКГ-8І від якості подрібнення при різних коефіцієнтах використання. Одержані залежності питомих витрат на ремонт та утримання екскаваторів від середнього розміру куска в розвалі, а також загальних витрат на екскавацію разом із витратами на утримання обладнання. Авторами зазначено, що «це дозволить у подальшому використовувати більш глибокий аналіз всього технологічного ланцюга видобування руди, включаючи бурові і вибухові роботи, ліквідацію негабариту, транспортування руди».

В останні роки на базі теоретичних і експериментальних досліджень сформувався новий прогресивний напрямок у гірництві – комплексне моделювання з використанням комп'ютерних та інформаційних технологій, які дозволяють враховувати вплив достатньої кількості факторів на якість подрібнення гірничої маси з метою оптимізації параметрів технологічних процесів і зменшення витрат [11]. Різноманітність гірничо-геологічних умов залізрудних кар'єрів, мінливість параметрів бурі вибухових процесів, прийняття рішень в умовах невизначеності обумовлює певні труднощі в створенні чіткої теоретичної моделі, але у вищенаведеному аналізі

останніх досліджень і публікацій закладені основи вирішення даної проблеми.

Постановка завдання. Все вищенаведене визначило мету роботи: підвищення ефективності основних технологічних процесів шляхом удосконалення методики визначення залежності оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси від виробничих витрат.

Для досягнення поставленої мети був виконаний аналіз статистичної інформації щодо даних промислових вибухових робіт і техніко – економічних показників гірничо збагачувальних комбінатів Кривбасу. Кускуватість породи не є постійною величиною на певних етапах розробки, тому змінюється й степінь її впливу на ефективність і техніко - економічні показники окремих технологічних процесів в кар’єрі. Нами було виділено чотири основних види питомих витрат технологічних робіт, кожний з яких має специфічні вимоги до руйнування породи вибухом: буро вибухові роботи $S_{бвр}$; виймально - навантажувальні роботи $S_{секс}$; транспортування гірничої маси до пунктів призначення $S_{тр}$, що часто передбачає механічне подрібнення негабариту $S_{подр}$. Послідовність виконаних завдань наведено на структурній схемі досліджень (рис.1).

Викладення матеріалу та результати. У гірничій практиці розвал висадженої породи найкраще характеризується гранулометричним складом, який для різних гірничо-технологічних умов представляють декількома (від 3 до 7) фракціями крупності. Для відбудови різного роду залежностей вирішено використовувати однозначний показник, а саме - вміст негабариту або середній розмір куска зруйнованої гірничої породи. Останнім показником користуються частіше, оскільки при якісному руйнуванні породи вибухом негабарит не завжди присутній.

Були отримані емпіричні залежності наступних питомих витрат на: буро вибухові роботи; руйнування негабариту; - на екскавацію; - на транспортування від середнього розміру куска підірваної гірничої маси. Для обробки вихідних даних і побудови графіків використовувалась програма Microsoft Excel 2019.

Процес буріння не залежить від якості подрібнення гірничої породи. Його ефективність визначається наступними факторами: фізико-механічними властивостями гірничих порід, тріщинуватістю, підготовкою та технологією буро вибухових робіт. Інтенсивність подрібнення визначається змінними параметрами буро вибухових робіт: сіткою свердловин, питомими витратами вибухової речовини, виходом гірничої маси з одного погонного метра свердловини, питомими витратами буріння на одну тону підірваної гірничої маси і, як наслідок, витратами на обурювання підривних блоків. Залежність питомих витрат на буро вибухові роботи від середнього розміру куска підірваної гірничої маси представлена на рис.2.

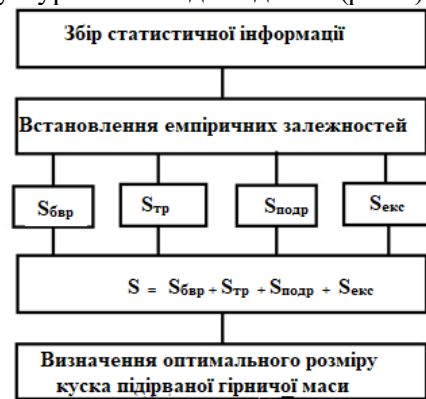


Рис.1. Структурна схема досліджень

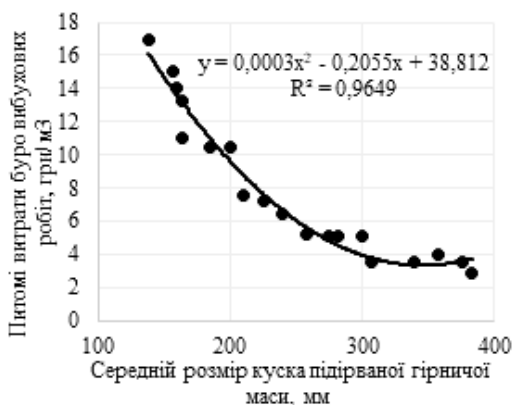


Рис.2. Залежність питомих витрат буро вибухових робіт від середнього розміру куска підірваної гірничої маси

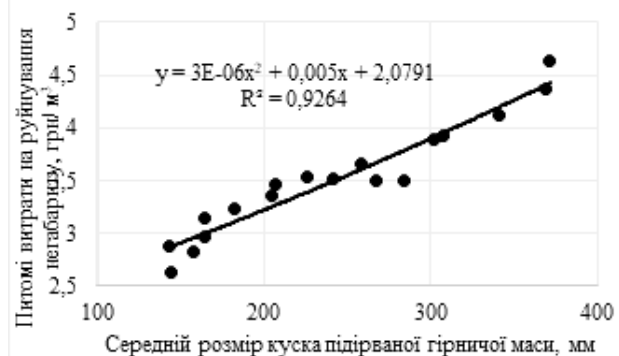


Рис.3. Залежність питомих витрат на руйнування негабариту від середнього розміру куска підірваної гірничої маси

Вимоги до якості подрібнення гірничої породи вибухом формуються на підставі геометричних параметрів використовуваного гірничого обладнання та енергетичних характеристик технологічних процесів [8,12,14] у кар’єрах. Геометричні характеристики обладнання визначають до-

пустимий розмір шматків висадженої породи. В ідеальному випадку негабарит має бути відсутнім, але це малоймовірно, тому при проектуванні буро вибухових робіт розрахунковий вихід негабариту не повинен складати більш 5%. Встановлено, що питомі витрати (зокрема, енергетичні) на подрібнення негабариту залежать не стільки від виходу негабаритних шматків породи, скільки від середнього розміру куска породи в розвалі підірваної гірничої маси (рис.3).

Негативні наслідки неякісного подрібнення і додаткові витрати часу мають місце і в наступних технологічних процесах. Так додаткове подрібнення негабариту у подальшому знижує продуктивність виймально – навантажувального обладнання.

Аналіз отриманих залежностей показує, що негативні наслідки неякісного подрібнення гірничої маси і додаткові витрати часу мають місце у всіх розглянутих технологічних процесах. Так додаткове подрібнення негабариту у подальшому знижує продуктивність виймально-навантажувального обладнання. При поганій якості дроблення збільшується вміст кусків негабариту, ускладнюється процес екскавації, зростає тривалість невиробничих витрат часу на підборку забою і відкидання негабариту. При цьому також зменшується коефіцієнт екскавації і підвищується спрацьовування обладнання. Враховуючи тісний взаємозв'язок всіх вищенаведених технологічних процесів в кар'єрі, вочевидь є те, що зниження продуктивності транспорту залежить від розглянутої продуктивності виймально – навантажувального обладнання. Підвищення питомих витрат на виймально – навантажувальний процес прямо пропорційний збільшенню середнього розміру кусків підірваної гірничої маси, що представлено графіком на рис.4.

Це призводить до збільшення простоїв транспорту під завантаження і зниження їх продуктивності. Залежність питомих витрат на транспортування гірничої породи від середнього розміру куска підірваної гірничої маси представлена на рис.5.

За допомогою спеціально створеної комп'ютерної програми, яка дозволяє оперативно змінювати вихідні дані техніко – економічних показників і задавати межі зміни діаметра середнього куска в розвалі підірваної гірничої маси, була встановлена узагальнена закономірність зміни сумарних витрат. Результати моделювання впливу середнього розміру куска висадженої гірничої породи на загальні питомі витрати та інтерфейс обчислювальної програми наведено на рис.6, 7. Отримана закономірність ґрунтується на комплексному врахуванні взаємозалежних технологічних факторів, які у подальшому впливають на показники подрібнення. Загальний графік уявляє собою параболічну функцію залежності суми питомих витрат на реалізацію розглянутих технологічних процесів від оптимального середнього розміру куска зруйнованої гірничої породи. Точкою екстремуму отриманої параболічної функції є шуканий показник – оптимальний діаметр середнього розміру куска зруйнованої гірничої породи. Мінімальне значення (екстремум функції) знаходиться в точці, що відповідає середньому розміру кусків і оптимальним питомим витратам. Використання цього результату надає більше можливостей для оперативного прийняття конкретних технологічних рішень.

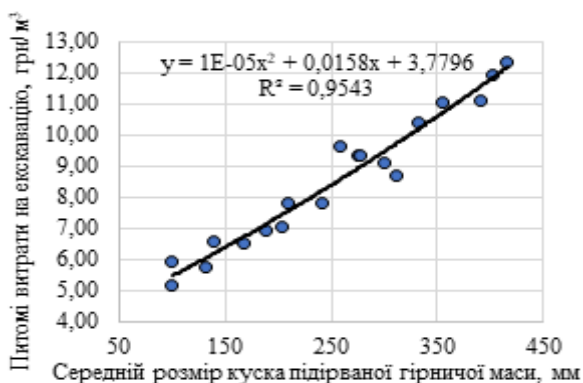


Рис.4. Залежність питомих витрат на екскавацію від середнього розміру куска підірваної гірничої маси

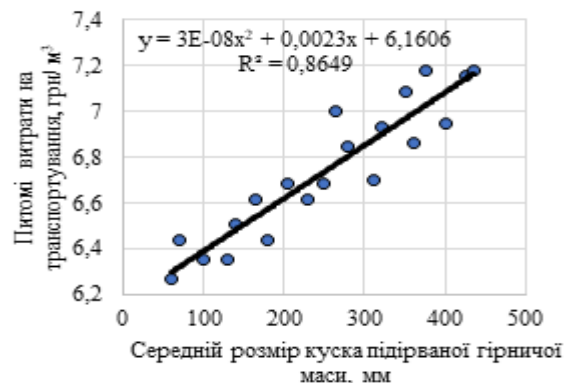


Рис.5. Залежність питомих витрат на транспортування від середнього розміру куска підірваної гірничої маси

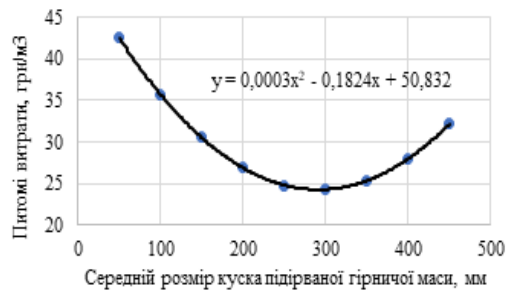


Рис.6. Залежність загальних питомих витрат від середнього розміру куска підірваної гірничої маси

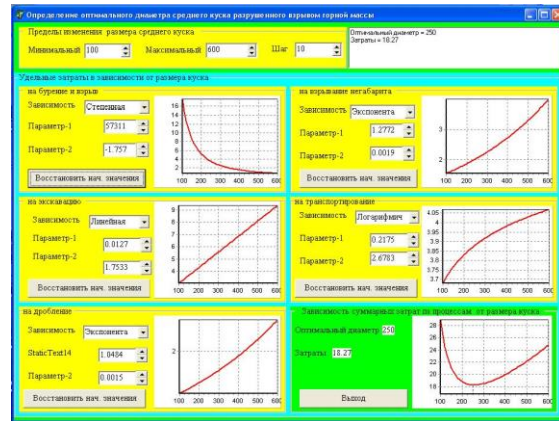


Рис.7. Інтерфейс обчислювальної програми

Висновки та напрямки подальших досліджень. Виконані дослідження по оперативному встановленню залежностей витрат на основні технологічні процеси гірничо- добувального виробництва від оптимального середнього розміру куска висадженої гірничої породи дозволяють підвищити ефективність буро вибухових робіт на кар'єрах шляхом зниження витрат на виконання вантажно – транспортних робіт і додаткового подрібнення. В перспективі ці положення мають бути корисними для створення алгоритму оптимального управління комплексом буро вибухових робіт на відкритих розробках рудних родовищ Кривбасу.

Список літератури

1. **Перебудов В.В., Жуков С.А.** Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография.- Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002.-305 с.
2. **Дриженко А.Ю., Шустов О.О.** Відкриті гірничі роботи: терміни та їх визначення: навч. пос. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 167 с.
3. **Ткаченко Г.І., Михайленко М.В., Несмашний Є.О.** Оперативне визначення відстані розльоту кусків гірської породи при масових вибухах на кар'єрах Кривбасу. Гірничий вісник : наук.-техн. зб. Кривий Ріг, 2022. Вип. 110. С. 141–145. doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-161-168
4. **Антонов О. В. Нестеренко, Г.І. Ткаченко.** Дія середовища при вибухових навантаженнях гірських порід // Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Кр. Ріг, 26-28 травня 2021 р.): тези доп. - Кривий Ріг: КНУ, 2021. С. 43.
5. **Левіцький А.П.** Сучасний стан і основні напрями розвитку процесів вибухової руди підготовки на кар'єрах // Вісник ЖДТУ. - Житомир, 2015. - № 1(72). - С. 99-103.
6. Пат.103516 України, МПК F42D 3/04. Спосіб виконання буро-вибухових робіт / **Скачков А. А., Сергієнко С. Є., Шапурін О. В., Сидоренко В. Д.**; №201110513; опубл. 25.10.2013, Бюл. № 20. – 8 с. – Режим доступу: <http://uapatents.com/8-103516-sposibvikonannya-buro-vibukhovikh-robot.html>. ДП "Український інститут промислової власності".
7. Визначення параметрів вибухових робіт, що забезпечують сейсмічну безпеку об'єктів, які охороняються навколо кар'єра Південного ГЗК з урахуванням використання сучасних вибухових речовин та засобів вибуху // Звіт по НДР/КТУ. - №43/2-05 ГОК/10-742-08; Кер. **Несмашний Є.О.** – Кривий Ріг, 2008. – 47 с.
8. **Стрилець А. П., Пчолкин, Г. Д. Корняшик, С. И.** Исследование влияния дробления скальных горных пород на эффективность работы комплексов циклично-поточной технологии в карьерах Криворожского железорудного бассейна//Український гірничий форум. НГУ, Т.1. 2015. - Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150525>
9. **Несмашний Є.О., Ткаченко Г.І., Скачков А.А., Перевертайло О.І.** Моніторинг сейсмічної безпеки масових вибухів на залізрудних кар'єрах Кривбасу. // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КТУ. - № 24. - 2009.- С.27 - 32.
10. **Несмашний Є.О., Ткаченко Г.І., Герасимова К.В.** Розроблення фізико-математичної моделі скочування бутів гірської породи з породних відкосів //Гірничий вісник. Науково-технічний збірник Криворізького національного університету. 2020. –Вип.107. – С. 101–106. web-сайт: iomining.in.ua/ua/homeua
11. **Купин А.И., Темченко А.А., Музыка И.О., Шиповский Г.В.** Оптимизация технологических процессов добычи и обогащения железных руд на основе применения комплексного моделирования. // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КТУ. - № 35. - 2013.- С.142 - 145.
12. **Шапурін А.В.** Взаимосвязи между параметрами расположения зарядов ВВ и кусковатостью горных пород во взрывном развале. Гірничий вісник: наук.-техн. зб. Кривий Ріг, 2019. Вип. 106. С. 48–54. doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-48-55
13. **Швец С.М., Разкевич Ф.С.** Вплив якості подрібнення гірських порід на виймальне - навантажувальні роботи Розвиток промисловості та суспільства: Розвиток промисловості та суспільства : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. : тези доповідей. Кривий Ріг, 2016. С. 24.

14. Караманов А.Н., Искандаров Ж.Р., Мардонов А. Хайитов О.Г. Оценка влияния качества взрыва на процессы открытых горных работ. VI Международная научно-практическая конференция. «Global science and innovations 2019: Central asia». Нур-Султан – 2019. IX Том. – С.79-82.

15. «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні»: закон України від 05.08.2013р. № 1320/23852- Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE23852

Рукопис подано до редакції 26.02.24

УДК 62-192:621.333

І.В. ВОРОНЦОВ, магістрант, О.К. ДАНИЛЕЙКО, Г.В. КОЛОМІЦ, старші викладачі
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ КРИВОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Забезпечення якісного освітлення для нормальної роботи в приміщеннях університету є обов'язковим. Ефективне функціонування систем освітлення потребує розробки оптимальної системи керування, яка повинна відповідати потребам навчального закладу. В університеті передбачено фінансування розробки енергоефективного, надійного та якісного освітлення.

Проведено поточний аналіз діючої системи освітлення відповідно до норм і вимог КНУ. Діюча система освітлення Криворізького національного університету є застарілою. Тому було розроблено проект модернізації існуючої системи освітлення, який відповідає нормам.

Для впровадження оптимальної енергоефективної системи управління штучним освітленням був проведений аналіз діючої системи штучного освітлення КНУ.

Мета. Розробка нової енергоефективної системи освітлення головного корпусу КНУ.

Методи дослідження. Провести заміну застарілого фонду світлотехнічного обладнання; провести заміну схем живлення освітлювальних приладів; встановити окремий лічильник на систему живлення штучного освітлення та встановити апарати захисту на відповідні лінії джерел штучного освітлення. Обрання мікрохвильових датчиків присутності на основі ефекту Доплера та рівня освітлення в приміщенні.

Наукова новизна. Впровадження розробленої системи АСУ для систем освітлення КНУ. Дослідження процесів та схеми комутації в системах штучного освітлення, можливості одночасної роботи декількох датчиків присутності у головному корпусі Криворізького національного університету.

Практична значимість. Впровадження нової енергоефективної системи штучного освітлення головного корпусу Криворізького національного університету.

Результати. Зроблено аналіз системи освітлення головного корпусу Криворізького національного університету. В роботі було розглянуто можливість використання мікрохвильових датчиків для можливих варіантів побудови САУ. Досліджено ефективність використання САУ, зі врахуванням існуючих потреб. Розроблено та налагоджено пристрій керування для потреб головного корпусу КНУ. На основі проведених теоретичних та практичних досліджень роботи САУ сформовано рекомендації для модернізації діючої системи освітлення.

Ключові слова. Енергоефективність, система освітлення, схемотехнічні рішення, якість освітлення, економічність, світлотехнічне обладнання.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-88-95

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. До сьогоднішнього дня в Україні для освітлення приміщень достатньо широко використовують лампи з малим ККД. Люмінесцентні лампи неекологічні, тому що містять пари ртуті, а лампи розжарювання перетворюють в світлове випромінювання всього сім процентів від споживаної енергії. Тому є дві основні проблеми, які необхідно вирішити. Перша полягає в утилізації ламп, друга пов'язана з малою енергоефективністю.

Підвищення енергоефективності в системах освітлення головного корпусу КНУ є одним із механізмів для потенціальної економії електричної енергії. В статті проаналізовано сучасний стан діючої системи освітлення, та зроблені висновки, які дозволять розробити сучасну енергоефективну систему освітлення.

В Криворізькому національному університеті електрифікація аудиторій, лабораторій, приміщень загального використання відбувається за схемами електропостачання, які були використані при побудові головного корпусу. Окремої системи живлення освітлювальних приладів не існує. Використовуються лінії живлення до відповідних споживачів.