

Криворізький національний університет
Кафедра охорони праці та цивільної безпеки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Тема: «Аналіз методів ергономічного проектування робочого місця
оператора кар'єрного екскаватора»**

Виконала зво групи ЗЦБ-22
ХОРЬКО Катерина
Керівник
Професор ШВАГЕР Наталія

Кривий Ріг
2026

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра охорони праці та цивільної безпеки
спеціальність 263 «Цивільна безпека»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. каф. _____
«__» _____ 2026 р

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувачці Хорько Катерині Олександрівні Група ЗЦБ-22

1. Тема випускної роботи: **«Аналіз методів ергономічного проектування робочого місця оператора кар'єрного екскаватора»**

2. Вихідні данні: інформація з нормативної документації щодо ергономічного проектування робочих місць, статистика профзахворювань.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

графічні схеми, залежності, таблиці відповідно до результатів проведення досліджень і встановлених висновків

4. Етапи виконання випускної роботи

| № з/п | Етапи і розділи проектування | ТИЖНІ | | | | | |
|-------|--|-------|---------|-------|-------------|----|----|
| | | 1,2 | 3,4,5,6 | 7,8,9 | 10,11,12,13 | 14 | 15 |
| 1 | Розділ 1 | + | | | | | |
| 2 | Розділ 2 | | + | | | | |
| 3 | Розділ 3 | | | + | | | |
| 4 | Розділ 4 | | | | + | | |
| 5. | Висновки | | | | + | | |
| 6. | Підготовка до захисту та захист роботи | | | | + | + | + |

5. Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р.

Керівник _____
(підпис)

_____ (посада, прізвище)

Консультанти:

| Найменування частини | Підпис | Консультант <i>(посада, прізвище, ініціали)</i> |
|--|--------|--|
| РОЗДІЛ 1 | | <i>проф. Швагер Н.Ю.</i> |
| РОЗДІЛ 2 | | <i>проф. Швагер Н.Ю.</i> |
| РОЗДІЛ 3 | | <i>проф. Швагер Н.Ю.</i> |
| РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ | | <i>проф. Швагер Н.Ю.</i> |

Календарний план виконання роботи

| № | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Термін виконання | Примітка виконання |
|----|--|------------------|--------------------|
| 1 | Співбесіда зі здобувачем за темою роботи, видача переліку рекомендованої нормативної, наукової літератури | | |
| 2 | Групування та аналіз зібраного матеріалу, уточнення завдань кваліфікаційної роботи | | |
| 3 | Підготовка 1 розділу кваліфікаційної роботи та подання його керівникові на перевірку | | |
| 4 | Підготовка 2 розділу кваліфікаційної роботи та подання його керівникові на перевірку | | |
| 5 | Підготовка 3 розділу кваліфікаційної роботи та подання його керівникові на перевірку | | |
| 6 | Підготовка 4 розділу «Оцінка ефективності запропонованих рекомендацій» та подання його консультанту від кафедри ОПЦБ | | |
| 7 | Підготовка висновків | | |
| 8 | Перевірка роботи керівником | | |
| 9 | Отримання відгуку керівника та рецензії | | |
| 10 | Захист роботи у ДЕК | | |

Завдання видав:

керівник кваліфікаційної роботи

науковий ступінь, вчене звання, прізвище і ініціали керівника роботи

Завдання отримав:

Здобувач вищої освіти _____

прізвище і ініціали здобувача

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

УЕЯП—управління ергономічним рівнем якості (ергономічністю) продукції;

ЛМС – людина-машина-середовище;

НТД- нормативно технічна документація;

ТЗ — транспортний засіб;

ТО— технічне обслуговування;

САПР— система автоматичного проектування;

ЕКГ — тип екскаватора;

ЕО— елементи обладнання;

РЕФЕРАТ

Тема роботи: «Аналіз методів ергономічного проектування робочого місця оператора кар'єрного екскаватора».

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить: 52 сторінки; 17 рисунків; 8 таблиць; 21 літературне джерело.

В роботі розглянуті методи ергономічного проектування робочого місця оператора кар'єрного екскаватора.

Проведений аналіз професійних захворювань операторів транспортних пристроїв виявив стабільність вертеброневрологічних захворювань, переважно представлених попереково-крижовою радикулопатією через застосування морально застарілої та фізично зношеної техніки.

Ергономічність є критично важливим фактором зниження ризиків відмов кар'єрних екскаваторів, оскільки вона безпосередньо впливає на людський фактор і надійність оператора. Врахування ергономічних показників на етапі проектування та експлуатації гірничодобувного обладнання мінімізує ймовірність помилок, спричинених втомою або незручністю робочого місця.

Використання ергономічних принципів в конструкції екскаваторів включає: оптимізацію робочого місця, покращення оглядовості, зниження шкідливих впливів. Впровадження перспективних дистанційних систем керування та роботизованих гірничих машин з розширенням сфер їх застосування потребує перегляду та доповнення форм забезпечення безпечних та ергономічних умов праці операторів, у поєднанні з високим рівнем надійності діяльності людини за виконання технологічних операцій.

ОХОРОНА ПРАЦІ, БЕЗПЕКА, ЕРГОНОМІКА, ОПЕРАТОР, ПРОЕКТУВАННЯ, ТРАНСПОРТНИЙ ПРИСТРІЙ, ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН.

ЗМІСТ

| | |
|---|------|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..... | . 4 |
| РЕФЕРАТ..... | 5 |
| ВСТУП..... | . 7 |
| РОЗДІЛ 1 | . 9 |
| 1.1 Ергономічність як фактор зниження ризиків | 9 |
| 1.2 Попередня підготовка машиністів на тренажерах | 15 |
| РОЗДІЛ 2 | 18 |
| РОЗДІЛ 3 | 28 |
| 3.1. Автоматизовані системи ергономічного проектування | 28 |
| 3.2 Огляд з робочого місця машиніста кар'єрного екскаватора | 37 |
| РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ | 44 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 49 |
| ЛІТЕРАТУРА..... | . 51 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|--------------|--------|------|---|--|--|----------|-------|---------|----|--|
| | | | | | КНУ.КР.20.263.03.68су | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата | Аналіз методів ергономічного проектування робочого місця оператора кар'єрного екскаватора | | | Літ. | Аркуш | Акрушів | | |
| Розробив | | Хорько К.О.. | | | | | | | | | | |
| Перевірив | | Швагер Н.Ю. | | | | | | | | 6 | 58 | |
| Н. Контр. | | | | | | | | ЗЦБ – 22 | | | | |
| Затвердив | | Швагер Н.Ю. | | | | | | | | | | |

ВСТУП

Питанням гуманізації технічних систем, тобто ергономіки, останні роки приділяється велика увага. Відповідно до стандартів - ергономіка, наукова дисципліна, що вивчає взаємодію людини з виробничим середовищем; сфера діяльності, вид трудової діяльності, який використовує теорію оптимізації, її принципи, дані та методи для проектування з метою забезпечення зручності та безпеки праці людини та підвищення продуктивності виробничої системи.

Ергономічні стандарти, що діють

| Стандарт | Назва / тематика |
|---------------------|---|
| ДСТУ 7299:2013 | Дизайн і ергономіка. Робоче місце оператора. Взаємне розташування елементів робочого місця. Загальні вимоги ергономіки (docs.dbn.co.ua) |
| ДСТУ 7950:2015 | Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги (ДНАОП) |
| ДСТУ 8604:2015 | Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги (ukrmts.com) |
| ДСТУ 7951:2015 | Дизайн і ергономіка. Крісло оператора. Загальні ергономічні вимоги (ksv.biz.ua) |
| ДСТУ 7234:2011 | Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки (ksv.biz.ua) |
| ДСТУ 7251:2011 | Дизайн і ергономіка. Номенклатура та порядок вибору вимог ергономіки та дизайну (ksv.biz.ua) |
| ДСТУ ISO 11226:2009 | Ергономіка. Оцінювання статичних робочих поз (ідентичний переклад стандарту ISO 11226) (ДНАОП) |

У межах ергономіки виокремлюють чотири різні напрями діяльності за методичним та методологічним базисом:

- наукове – реалізація множинних міждисциплінарних дослідів, спрямованих на надання людино-машинним системам властивостей, орієнтованих на людину;
- системне – об'єднання наукових даних з різних галузей знань про людину та техніку з ціллю комплексного дослідження та забезпечення людиноорієнтованих характеристик системи «людина — машина»;
- практична – сприяння формуванню орієнтованих на працівника характеристик новостворених, модернізованих і діючих людино-машинних систем на основі результатів досліджень та міждисциплінарних даних;
- методичне – накопичення та узагальнення досвіду ергатичних систем і стандарт процедур врахування людських факторів [1-4].

Багатогранність та складність вивчення організації трудової діяльності людини потребує комплексного підходу, з метою вирішення триєдиного завдання підвищення продуктивності праці, збереження здоров'я та розвитку особистості.

Відкрита розробка родовищ корисних копалин характеризується збільшенням обсягів перероблюваної гірничої маси та коефіцієнтів розкриття, удосконалюються виробничі процеси за рахунок передових технологій, що тягне за собою використання високопродуктивного гірничого обладнання. Ефективність та надійність роботи такого обладнання забезпечується його правильною експлуатацією, мінімізацією витрат на утримання та ремонт машин, зокрема кар'єрних екскаваторів (типу ЕКГ) [5,6]. Оснащеність екскаваторів сучасними керуючими інформаційно-діагностичними системами, програмно-апаратними комплексами реєстрації, обробки та передачі даних забезпечує підвищення ефективності експлуатації. Разом з тим, зберігається тенденція зниження експлуатаційної продуктивності кар'єрних екскаваторів через збільшення частки основних відмов вузлів та механізмів. Це обумовлено в першу чергу якістю управління кар'єрним екскаватором, стомлюваністю машиніста, не відповідністю характеру взаємодії машиніста та кар'єрного екскаватора викликаного, у тому числі і недостатньою ергономічною опрацьованістю робочого місця машиніста.

Досвід провідних зарубіжних та вітчизняних машинобудівних підприємств показав, що покращення ергономічних та естетичних показників робочого місця машиніста все більше стає основним напрямом зростання конкурентоздатності гірничої техніки. Тому для підвищення конкурентоспроможності нових зразків екскаваторної техніки, важливими є питання підвищення надійності кар'єрних екскаваторів, забезпечення заданого рівня споживчих властивостей, що визначаються ергономічними показниками якості, санітарно-гігієнічних умов та комфорту праці машиністів.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ

1.1 Ергономічність як фактор зниження ризиків відмов кар'єрних екскаваторів

Встановлено, що ефективність праці залежить від ергономічності та зручності робочого місця [3,4].

Значне місце (56,3%) у структурі професійної захворюваності працівників гірничо видобувної галузі належить машиністам кар'єрних екскаваторів [4]. Згідно з наявними в літературі даними, машиністи у процесі трудової діяльності піддаються впливу комплексу шкідливих виробничих факторів середовища та трудового процесу, які є факторами ризику їхнього здоров'я. До провідних з них належать несприятливі мікрокліматичні умови, шум, загальна та локальна вібрація, фізичні та емоційні навантаження. При цьому ступінь відхилення факторів від гігієнічних нормативів значною мірою залежить від технічного стану використовуваного обладнання, що нині на 70% представлений технологічно застарілими та фізично зношеними кар'єрними екскаваторами старих зразків.

В гігієнічному спектрі накопиченої професійної захворюваності перші рангові місця займають вертебрoneврологічні захворювання (40,2%), переважно представлені попереково-крижової радикулопатією [7,8]. Факторами ризику розвитку даної патології можуть бути тривале виконання роботи у незручній робочій позі, динамічне фізичне навантаження, локальна м'язова перенапруга (рис.1.1) [9]. У роботах вітчизняних та зарубіжних авторів показано, що зазначені показники трудового процесу значною мірою визначаються ергономічними факторами, що характеризуються ступенем відповідності конструкцій машин та організації робочих місць розмірам тіла та психофізіологічним можливостям працюючої людини [10-12]. Встановлення зазначеної відповідності забезпечує раціональну робочу позу, оптимальне фізичне навантаження, адекватну мобілізацію фізіологічних функцій, стійку та високу працездатність працівника без шкоди для його здоров'я.

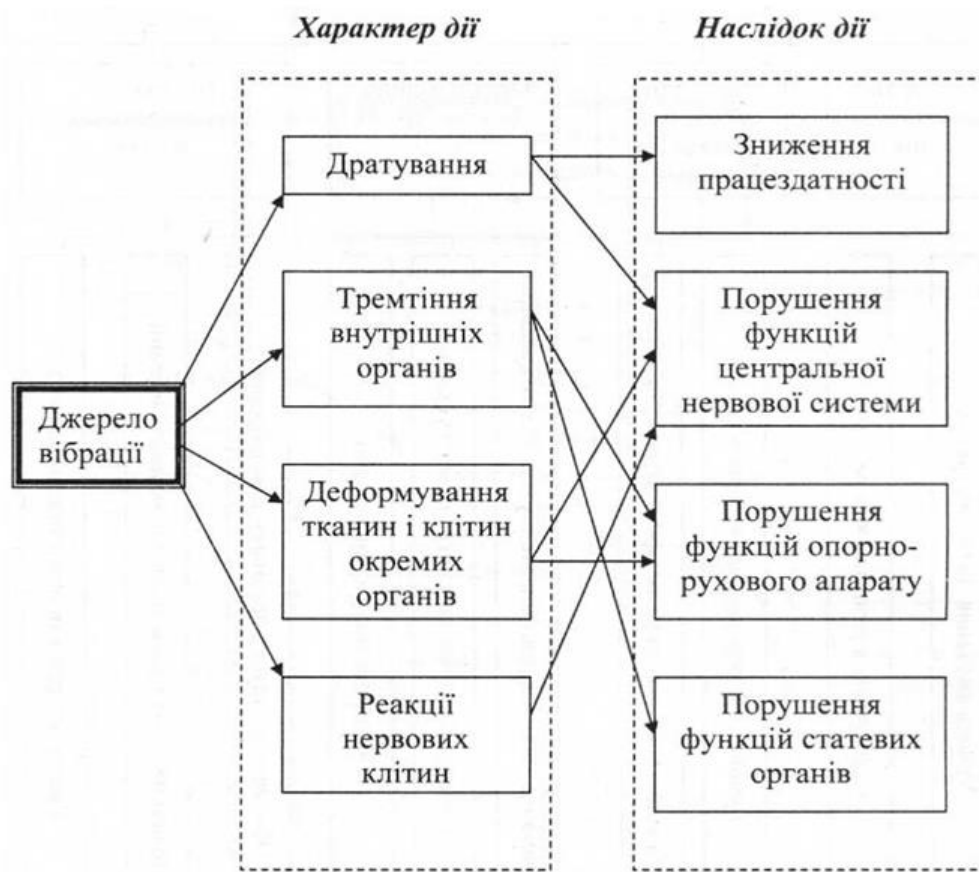
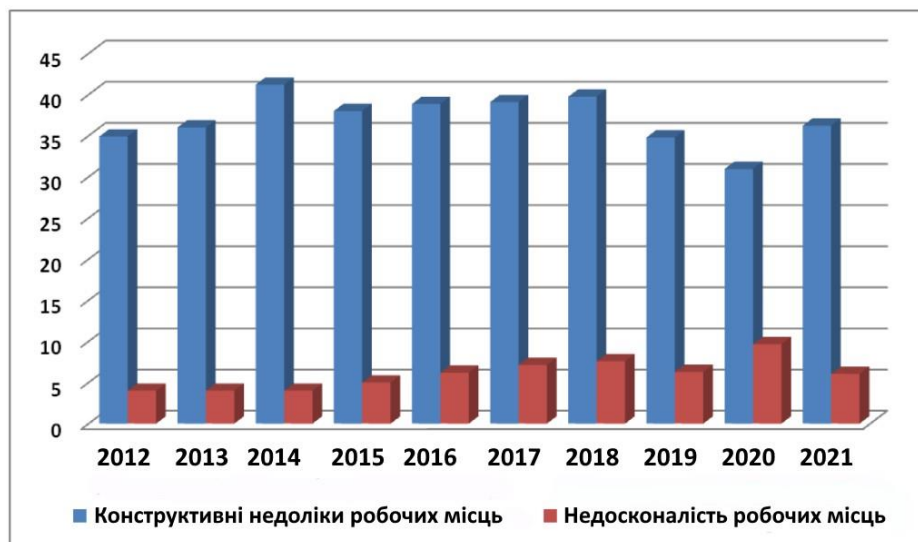


Рис.1.1. Характер і наслідки дії вібрації на людину.

Основні обставини та умови виникнення хронічних професійних захворювань,
%



На малюнку 1.2 представлено статистику підвищення ефективності робіт у цілому при реалізації ергономічних вимог робочих місць

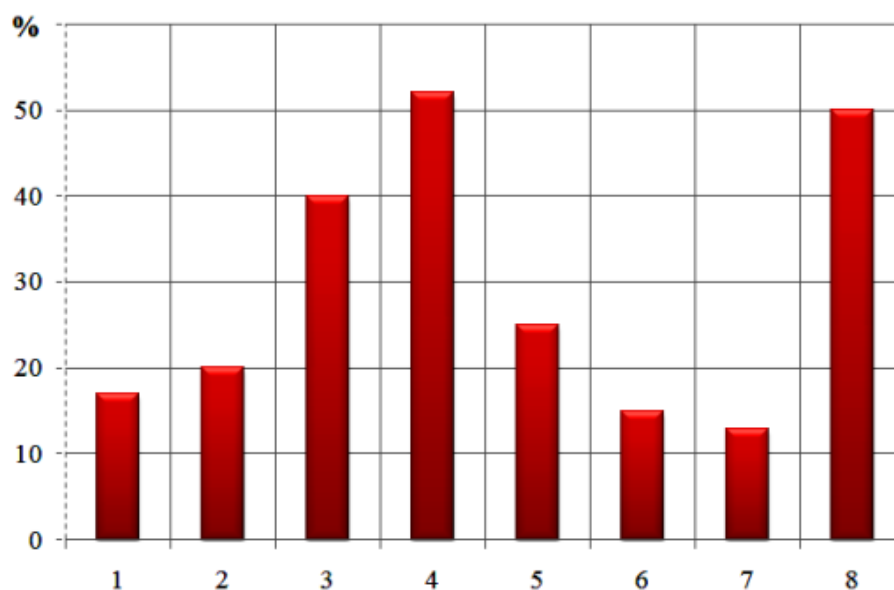


Рис.1.2. Вплив ергономічності на ефективність роботи: 1-підвищення загальної ефективності робіт; 2- підвищення ефективності роботи; 3- підвищення працездатності; 4-підвищення якості; 5- скорочення терміну виконання операцій; 6-скорочення трудовитрат; 7-скорочення рівня захворювань; 8-скорочення кількості аварій та катастроф.

У зв'язку зі складністю обліку великої кількості постійно змінних факторів умов експлуатації, різноманітням гірничих машин, невеликою їх серійністю та швидкою зміною зразків, методики оцінки якості кар'єрного обладнання вимагають удосконалення та адаптації до сучасних умов гірничого виробництва[11,12].

Істотною обставиною є об'єктивна оцінка порогових значень ергономічних показників якості, вихід за рамки яких потребує зміни конструктивних рішень щодо вдосконалення кар'єрних екскаваторів.

Категорія «якість продукції» поставила до порядку денного проблему ролі та місця людського фактору в сучасному менеджменті якості, що формулюється як управління ергономічним рівнем якості (ергономічністю) продукції (УЕЯП) [13,14].

УЕЯП - системно структурований процес, що базується на сукупності взаємопов'язаних наукових положень, а також методів їх реалізації, спрямованих на досягнення в рамках менеджменту якості необхідної ергономічності продукції за рахунок зручності та безпеки умов, засобів та продукту функціональної діяльності.

Керованість, обслуговуваність та освоєння характеризують властивості об'єктів, за яких вони добре інтегруються у систему та процес роботи працівника або групи працівників з керування, обслуговування та освоєння, завдяки впровадженню у проект рішенням, що забезпечують оптимальні умови для дієвого, економічно вигідного та безпечного виконання цих видів діяльності.

Життєздатність співвідноситься до умов експлуатації систем, які забезпечують збереження здоров'я, нормальну динаміку працездатності та задовільний стан самопочуття людей. Ефективним засобом виконання таких умов є прибирання або пом'якшення негативних факторів виробничого середовища безпосередньо в джерелах їх виникнення в обладнанні, машинах і системах.

Керованість визначає такі групові показники:

- відповідність конструкції машини та окремих частин, організації місця роботи відповідній психофізіологічній організації та процесу діяльності людини у нормальних та аварійних умовах;

- відповідність змісту діяльності, що задається машиною, з управління оптимальним рівнем складності та різноманітності дій людини;

- відповідність напруженості діяльності, що задається машиною мінімальної напруженості, за якої досягається ефективність управління;

- відповідність вимог, що задаються машиною, до якості роботи з керування задовільним, точним, швидкісним та надійним можливостям людини.

Обслуговуваність характеризується співвідношенням конструкції обладнання (або його компонентів) прийнятним психофізіологічним

параметрам та організації діяльності людини при використанні, обслуговуванні й ремонті.

Освоєння визначає:

- закладені в машині та експлуатаційній документації можливості найшвидшого її освоєння на основі набуття необхідних знань, умінь та навичок управління та обслуговування;

- вимоги що задаються машиною, до рівня розвитку професійно значних фізіологічних та психічних функцій працівника для роботи як в нормальних, так і у аварійних умовах.

Життєздатність визначає:

- співвідношення умов роботи обладнання біологічно прийнятним умовам виробничого середовища, які забезпечують працівнику нормальний стан, гарне здоров'я та високу працездатність.

Технологічність визначає сукупність властивостей виробу, що відбивають пристосованість його конструкції до досягнення оптимальних витрат ресурсів при його виробництві, ремонті та утилізації. Технологічність характеризує не лише функціональні властивості виробу, а властивості його як об'єкта виробництва та експлуатації [13].

Ергономікою визначено підхід до людини як особливої ланки, включеної у систему технічних пристроїв, машин, докільця.

Ергономічне забезпечення є обов'язковим етапом проектування. Об'єктами ергономічного проектування є процес (організація, алгоритм) та засоби діяльності – зовнішні, технічні (виріб, машина, обладнання) та внутрішні, властиві людині (знання, уміння, навички), а також умови діяльності (робоче місце, середовище, психологічний клімат) [14].

У початковому періоді розвитку технічних систем важливу роль грав «машиноцентричний підхід», відповідно до якого первинними вважалися технічні компоненти системи, а людині відводилася роль другорядної ланки, змушеної пристосовуватися та адаптуватися до можливостей техніки. Як показала практика такого машиноцентричного підходу до створення нової

техніки, рівень її ефективності становить у ряді випадків не більше 30-50% від закладених технічних можливостей. Такий підхід малопродуктивний при аналізі складних систем, тому що поведінка людини досить складна.

Сучасна наукова позиція в більшості інженерно-психологічних та ергономічних дослідженнях – це антропоцентричний підхід. Водночас на практиці позиція багатьох розробників техніки, які стикаються з негативними наслідками людського фактору в сучасному виробництві, зводяться до максимальної автоматизації систем управління, тобто відображає машиноцентричний підхід. Поруч із антропотехнічним підходом виник «системнотехнічний» підхід, у якому ролі людини і техніки зрівняні. Встановлено, що ергономічність гірничої машини є цілісною характеристикою, яка виростає з наступних ергономічних властивостей: керованості, обслуговуваності, освоєння, життєдіяльності та технологічності. Кожна ергономічна властивість, своєю чергою, визначається з низки комплексних показників, які представляють різні, але взаємозалежні сторони цих властивостей.

Також обґрунтовано використання методу віртуальних прототипів для створення гірничих машин, що виробляються малими серіями або у вигляді окремих екземплярів. Багато технічних засобів, що використовуються в гірничодобувній промисловості, вимагають присутності людини (оператора), тому проєктувальники зобов'язані постійно вдосконалювати їх конструкції для забезпечення максимальної безпеки умов праці. З цією метою на етапі проєктування застосовуються методи та інструменти, що дозволяють оцінити майбутні технічні розробки. Критеріями оцінки віртуального прототипу є дві основні групи: технічні та антропотехнічні.

Технічні критерії стосуються лише оцінки технічних характеристик і дозволяють оцінити його особливості, такі як функціональність, міцність, надійність та ін.

Антропотехнічні критерії обумовлені наявністю людей усередині машини чи обладнання. У цій групі можна виділити ергономічні критерії:

діапазони кінцівок – ідентифікація зон діапазону та зон комфорту, включаючи необхідність роботи у незручних позах тіла; поле зору; навантаження м'язово-скелетної системи – здатність впливати силами та крутними моментами на кінцівки; критерії безпеки – захист від механічних небезпек; критерій травми голови; шум; вібрація; ризик падіння; правильне освітлення.

Використання методу віртуального прототипування, з одного боку, зменшує ймовірність проектних помилок, а з іншого – дозволяє проводити оцінку машин-прототипів на основі антропометричних критеріїв з використанням апаратних та програмних можливостей, а також автоматизувати процес проектування та надає можливість порівняльної оцінки кабін аналогічних конструкцій [15].

1.2 Попередня підготовка машиністів на тренажерах як фактор зниження ризиків

Підготовка фахівців для підприємств гірничої промисловості має свої особливості, пов'язані з тим, що технологічні процеси проходять, як правило, у складних гірничо-геологічних та кліматичних умовах. На кар'єрах, розрізах та шахтах експлуатуються агрегати великої одиничної потужності, крім того, використання у навчанні персоналу діючих гірничих машини потребує значних капітальних витрат і може призвести до виникнення аварій.

При навчанні на реальних машинах виникають труднощі у реалізації таких важливих принципів навчання, як поетапність та безперервність, немає об'єктивного контролю та самоконтролю коректності дій учня. Обмежено час тренувань, неприпустима самопідготовка та підвищена ймовірність створення аварійних ситуацій. Для навчання з виробничого технологічного процесу відволікається високопродуктивна техніка, яка в процесі навчання зношується, додатково витрачається електроенергія. Ефективним засобом підготовки машиністів екскаваторів, що забезпечує скорочення розриву між теорією та практикою, формування та розвиток професійних навичок, є інформаційно-моделюючі комплекси (тренажери).

Графічні залежності (рисунок 1.3) дають загальне уявлення зв'язку величини рівня ризику травмування зі ступенем зміни кількості циклів тренажу та стажом роботи машиніста. Аналіз залежності, представленої, на малюнку 1.3 (а) показує, що для зниження рівня ризику травмування слід збільшувати кількість циклів тренажу, причому після шостого циклу при різному стажі машиніста приріст величини критерію ризику змінюється незначно. Залежність зміни рівня ризику травмування зі збільшенням стажу роботи машиніста представлена на малюнку 1.3 (б), при стажі понад 10 років ефект тренажу не дає такого вагомого приросту величини критерію ризику, як у молодосвідчених машиністів.

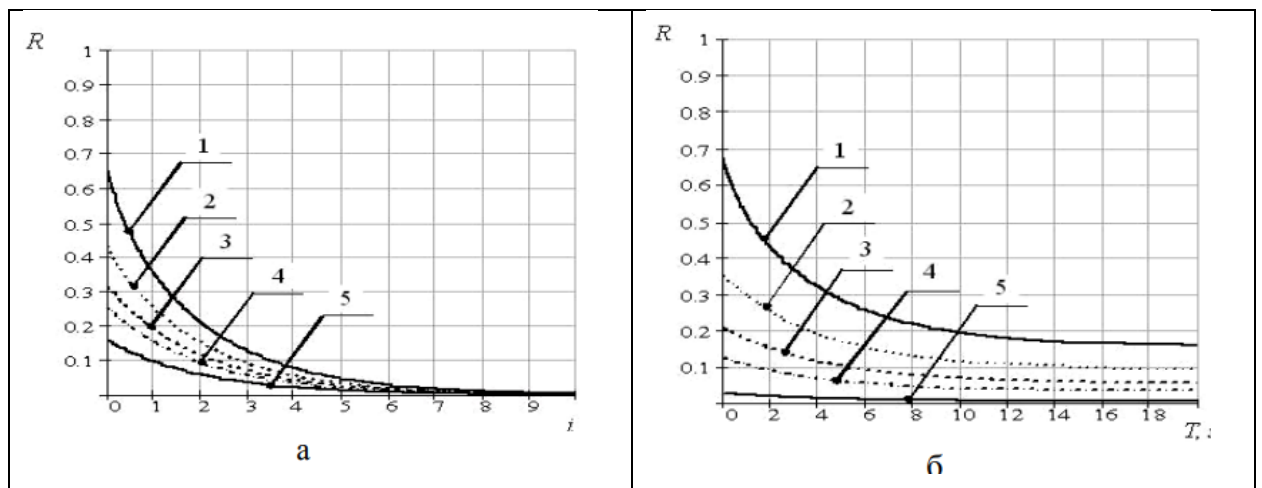


Рис.1.3. Залежність зміни рівня ризику травмування:

а – зі збільшенням числа повторювання циклів тренінгу за стажу T :

1 – без стажу; 2 - 2 роки; 3 – 4 роки; 4 – 6 років; 5 – 20 років;

б – зі збільшенням стажу роботи машиніста T при нарощуванні циклів тренінгу: 1 – без повторення; 2 – 1 раз, 3 – 2 рази, 4 – 3 рази, 5 – 6 разів.

Необхідно відзначити зарубіжні наукові публікації у галузі розробки та експлуатації тренажерів. У роботі [10] розроблено тренажер-симулятор екскаватора для навчання машиністів для ведення віртуальних земляних робіт. У цій системі машиніст керує віртуальним екскаватором станції керування за допомогою джойстика, педалей, графічного дисплея та звукових ефектів (рисунок 1.4).

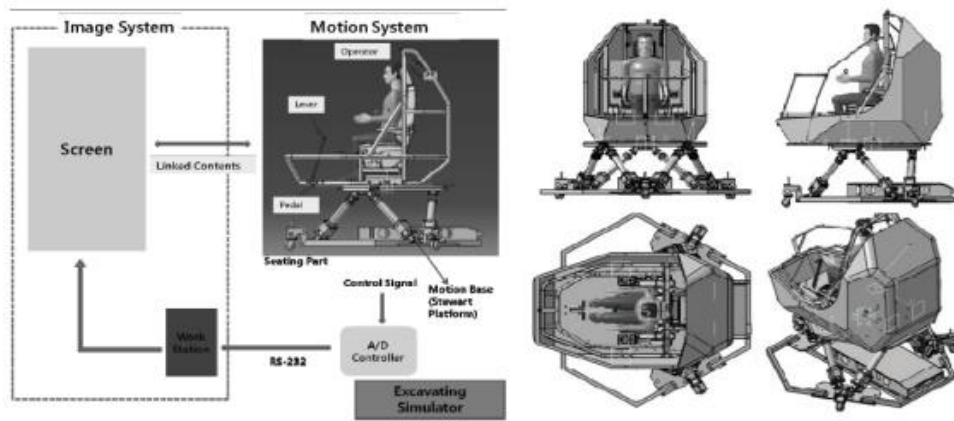
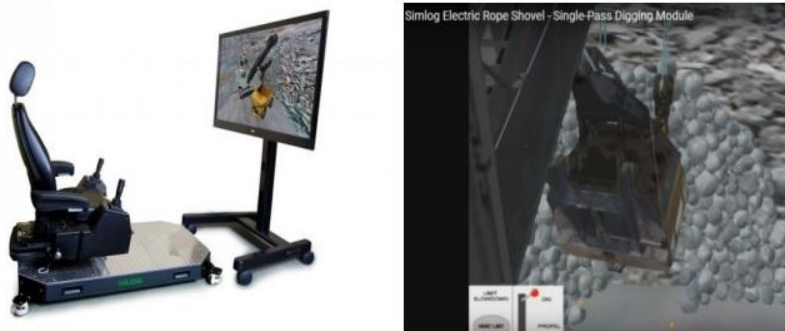


Рис.1.4. Структура екскаваторного симулятора

Серед виробників гірничої техніки варто відзначити розробки тренажерів та симуляторів фірм Atlas Copco, Caterpillar (рис 1.5,а), Simlog(рис 1.5,б), Volvo та ін.



а, тренажер екскаватора Cat® Simulators



б, тренажер кар'єрного екскаватора фірми Simlog

Рис.1.5. Найбільші світові постачальники тренажерів.

РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ МАШІНІСТА КАР'ЄРНОГО ЕКСКАВАТОРА НА БАЗІ ЕРГОНОМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ

Основним, а часто і вирішальним компонентом управління сучасною технікою є діяльність людини, характер якої значно змінюється внаслідок інтенсивного розвитку конструкцій та органів управління самих машин. Це призводить до суттєвої зміни характеру ергономічних вимог під час проектування машин. Тому до головних проблем належить, перш за все, розробка інженерно-психологічних підходів до людини та техніки та принципів розподілу функцій між людиною та машиною.

Ергономічна складова визначає відповідність показників об'єкту ергономічним вимогам та ергономічним стандартам через встановлення ергономічного рівня якості об'єкта, що оцінюється, тобто ступеня реалізації основних критеріїв.

Ергономічні завдання до системи «людина-машина-середовище» та її елементів являють собою нормовані характеристики процесів, засобів та умов діяльності, реалізація яких забезпечує досягнення заданих рівнів ергономічних властивостей. Ергономічність розглядається як цільовий рівень ергономічної складової якості об'єкта, тобто. ергономічність є комплексним критеріальним інтервалом значень параметрів та показників об'єкта, що описує стан його ергономічної норми як кількісно, так і якісно [14].

Комплекс ергономічних вимог ієрархічно стратифікований:

- загальні вимоги вищих рівнів, адресовані до цілісних характеристик функціональної діяльності (надійність, ефективність, точність тощо) суб'єкта в ергатичній системі;

- приватні (предметні) вимоги нижчестоящих системних рівнів ієрархії, що класифікуються відповідно до видів функціональної сполученості користувача та засоби діяльності та пред'являються до ергономічно значущих параметрів людинотехнічних систем.

Ергономічні вимоги сприяють:

- раціональному розподілу функцій у системі ЛМС;
- раціональній організації робочого місця на основі обліку у конструкції робочих характеристик та властивостей людини;
- відповідності технічних засобів можливостям людини щодо прийому та переробки інформації та здійснення керуючих впливів;
- оптимальному для життєдіяльності та працездатності людини виробничому середовищу.

Основними засадами реалізації ергономічних вимог є принципи безперервності, циклічності, обов'язковості використання.

Принцип безперервності полягає в тому, що ергономічні вимоги враховуються на всіх етапах життєдіяльності системи ЛМС під час проектування, створенні (виробництві, випробуваннях) та експлуатації. Ергономічне забезпечення проектних робіт полягає у встановленні та реалізації ергономічних вимог та формування ергономічних властивостей системи «людина-машина-середовище» на стадіях її розробки та експлуатації [15].

Об'єктами ергономічного проектування є процес (організація, алгоритм) та засоби діяльності - зовнішні, технічні (виріб, машина, обладнання) та внутрішні, властиві людині (знання, вміння, навички), а також умови діяльності (робоче місце, середовище, психологічний клімат). В результаті ергономічного проектування повинні бути визначені раціональні функції, які виконуватиме людина: способи реалізації цих функцій (циклограми, алгоритми діяльності, режим праці – відпочинку); характеристики інформації.

В таблиці 2.1 представлені методи досліджень, що використовуються для визначення кількісних та якісних характеристик одиночних ергономічних показників кар'єрних екскаваторів.

Таблиця 2.1

Методи досліджень одиночних ергономічних показників кар'єрних екскаваторів

| Одиночні ергономічні показники | Кількісні характеристики (Метод досліджень) | Якісні характеристики (Метод досліджень) |
|--|---|--|
| Керованість | | |
| 1. Розподіл функцій між оператором та екскаватором при керуванні | Органолептичний | Експертний – оцінюється наявністю на екскаваторі часткової або повної автоматизації, засобів контролю) |
| 2. Складність алгоритму діяльності оператора | Операційно-структурний – алгоритмічний опис діяльності, коефіцієнти стереотипності та логічної складності | — |
| 3. Забезпечення інформаційної взаємодії | Поєднання розрахункового та органолептичного методу | експертного підходів та |
| 4. Компонування елементів робочого місця та моторного поля оператора | Поєднання розрахункового та | експертного підходів та |

| Життєздатність | | |
|---|--|------------|
| 5. Важкість праці оператора | Вимірювальний - мікроклімат, запиленість, вібрація, освітленість | _____ |
| 6. Санітарно-побутове забезпечення | Органолептичний | Експертний |
| 7. Тяжкість праці в кузові | Вимірювальний | _____ |
| Обслуговуваність | | |
| 8. Розподіл функцій у системі «оператор екскаватор» при обслуговуванні та ремонті | Органолептичний | Експертний |
| 9. Наочність та зручність експлуатаційної документації | ___ | Експертний |
| 10. Доступність та безпека обслуговування та ремонту | ___ | Експертний |
| 11. Можливість зв'язку між учасниками, що виконують обслуговування та ремонт | ___ | Експертний |
| 12. Забезпечення коштами діагностики | ___ | Експертний |
| 13. Інструменти та пристрої | ___ | Експертний |
| 14. Зручність виготовлення, монтажу, транспортування та утилізації екскаватора | ___ | Експертний |

| Освоєння | | |
|--|----------------|------------|
| 15.Вимоги до персоналу | — | Експертний |
| 16. Відповідність документації та графічної інформації в кабіні оператора завданням навчання персоналу | — | Експертний |
| 17. Уніфікація компоновання елементів робочого місця оператора | Регістраційний | Експертний |
| Технологічність | | |
| 18. Наявність у НТД на машину вимог щодо ергономіки | — | Експертний |
| 19. Рівень шуму та вібрації при виготовленні окремих деталей екскаватора | Вимірювальний | Експертний |
| 20. Забезпеченість технічною документацією з монтажу та транспортування окремих вузлів екскаватора | — | Експертний |
| 21. Зручність монтажу, транспортування, демонтажу та утилізації екскаватора | — | Експертний |

Слід також врахувати, що досі відсутня чітка класифікація методів дослідження та підходів у визначенні ергономічності кар'єрних екскаваторів. Це визначається тим, що дана класифікація повинна охопити всі напрямки досліджень ергономіки, які остаточно не оформилися і динамічно розвиваються, внаслідок отримання нових знань про взаємодію елементів системи «людина – машина – середовище» (рис.2.1).

В даний час ергономічна експертиза стала обов'язковим етапом при дослідженні, проектуванні та експлуатації елементів системи «людина –

машина – середовище». Метою експертизи є визначення відповідності досягнутих показників якості загальним та приватним ергономічним вимогам та встановлення ергономічного рівня якості всієї системи.

Як правило, результати експертизи мають якісний і суб'єктивний характер, і багато в чому визначаються професійним рівнем та досвідом особи, яка проводила оцінку.

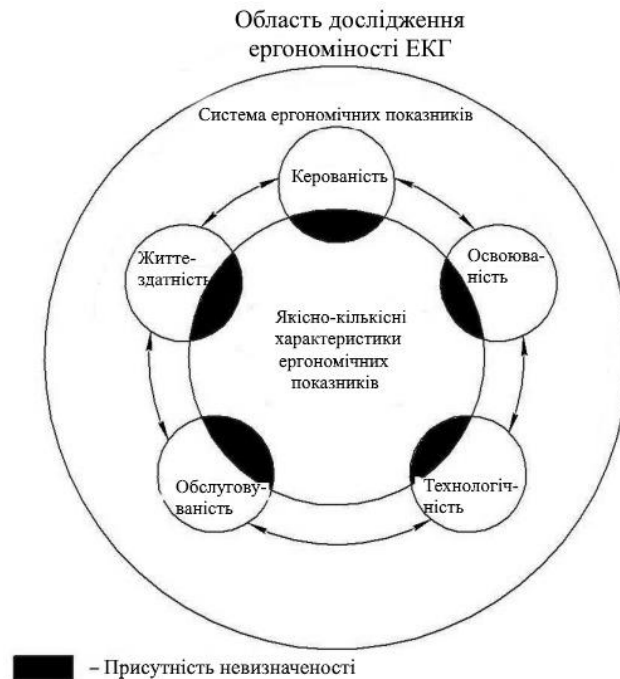


Рис.2.1. Структура ергономічних показників з урахуванням невизначеності в їх якісно-кількісних характеристиках

Експертні оцінки відображають досвід та знання фахівців щодо об'єкта, що досліджується. Суть експертних методів полягає в тому, щоб, використовуючи досвід, знання, інтуїцію фахівців витягти з суб'єктивних суджень об'єктивну істину. Існує багато різновидів експертних методів, але більшість із них можуть бути зведені до двох класів: методів прямого ранжирування та методів попарного порівняння. Найкращими з точки зору точності висновків є методи прямого ранжування, однак вони обмежені людськими можливостями: при числі об'єктів порівняння 12-15 жодний експерт не може проранжувати їх правильно.

Було встановлено вплив комплексних ергономічних показників на узагальнений ергономічний показник ($K_{\text{ерг}}$), що характеризує ступінь відповідності гірничої машини ергономічним вимогам [16].

$$K_{\text{ерг}} = A_1 \Pi_1 + A_2 \Pi_2 + A_3 \Pi_3 + A_4 \Pi_4$$

де $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ – комплексні показники забезпечення керованості, життєдіяльності, обслуговуваності, освоєння;

A_1, A_2, A_3, A_4 - коефіцієнти вагомості відповідних комплексних показників ($A_1=0,4; A_2=0,3; A_3=0,25; A_4=0,05$);

При проведенні подальших досліджень використовується метод парних порівнянь. Метод парних порівнянь широко застосовується для визначення показників значущості об'єктів щодо обраного якісного критерію при їх незначні відмінності.

Можливість не контролювати одночасно всі фактори або групу схожих факторів дає можливість експерту акцентувати увагу на окремому питанні, зокрема на визначенні, наскільки один фактор A_i переважає або поступається фактору B_j , що, як очікується, підвищує точність отриманих результатів.

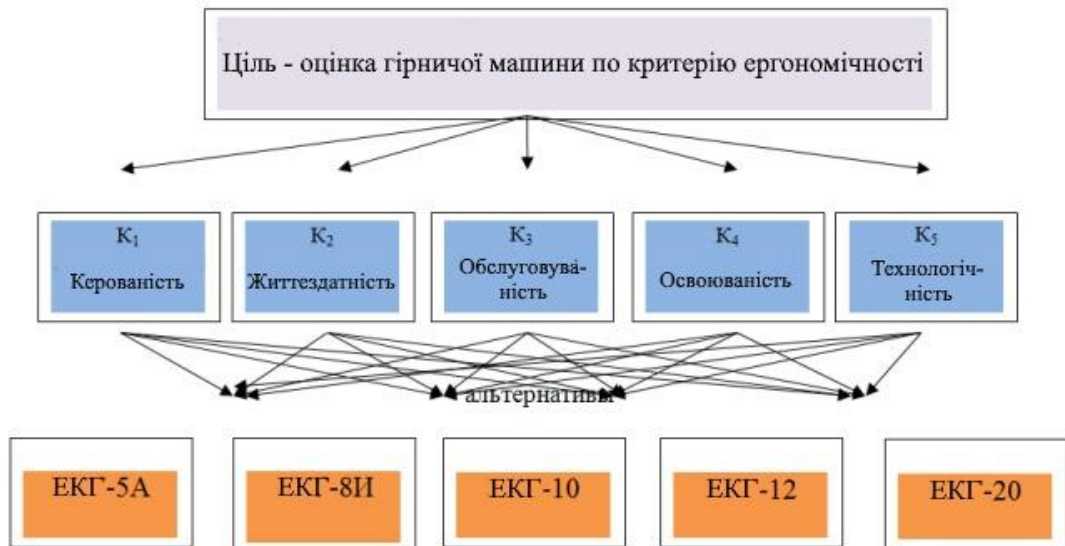


Рис 2.2. Декомпозиція задачі до ієрархії

Метод парних порівнянь передбачає поетапне виконання розрахунків, приступаючи до оцінки гірничих машин за критерієм ергономічності, необхідно вирішити 2 завдання: сформулювати групу експертів та розробити

систему критеріїв (ергономічних показників), за якими виконуватиметься аналіз (рис. 2.2)

Оцінка виконуються за показниками: керованість, життєдіяльність в кабіні оператора, обслуговуваність, освоєність та технологічність.

Необхідно зауважити, що кожен із перелічених показників має різний ступінь значимості. Відповідно, першому етапі необхідно оцінити значимість кожного показника з точки зору членів експертної групи. Кожен експерт повинен, по-перше, провести попарне порівняння важливості показників оцінки, що використовуються, а потім виконати попарне порівняння наявних альтернатив з точки зору кожного з показників. Аналогічним чином проводиться опитування інших експертів та оцінюється узгодженість їхніх думок. Потім результати опитувань усереднюються, і формується колективна думка членів експертної групи (за формулою середньої арифметичній простий) рис. 2.3.



Рис.2.3. Коефіцієнти значущості відповідних комплексних ергономічних показників [15].

Визначення пріоритетів гірничих машин за показником керованості (K_1). Перед експертом порушується питання: «Як Ви вважаєте, у якої гірничої машини X чи Y вища керованість? Якою мірою (перевага слабка, значна, дуже сильна)?». Процедура визначення пріоритетів за K_1 повністю ідентична описаній вище, при цьому оцінюються конкретні гірничі машини (наприклад: екскаватори типу- ЕКГ).

Аналогічно заповнюються матриці для інших експертів, і визначається узагальнена оцінка членів експертної групи (табл. 2.2).

Таблиця 2

Підсумкова матриця розподілу екскаваторів за K_1

| Керованість | Експерт 1 | Експерт 2 | Експерт 3 | Експерт 4 | Експерт 5 | Експерт 6 | Експерт 7 | МО |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| ЕКГ-5А | 0,039307 | 0,037651 | 0,049409 | 0,038752 | 0,06653 | 0,03587 | 0,03149 | 0,042716 |
| ЕКГ-8И | 0,075988 | 0,081099 | 0,102788 | 0,052166 | 0,064227 | 0,059044 | 0,10935 | 0,077809 |
| ЕКГ-10 | 0,131896 | 0,109677 | 0,12718 | 0,082034 | 0,17782 | 0,146469 | 0,10935 | 0,126347 |
| ЕКГ-12 | 0,45786 | 0,461171 | 0,444565 | 0,561169 | 0,347365 | 0,50311 | 0,33177 | 0,443859 |
| ЕКГ-20 | 0,29501 | 0,310572 | 0,27578 | 0,26551 | 0,34424 | 0,25528 | 0,4185 | 0,30927 |
| Сума | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Далі проводяться аналогічні опитування експертів за іншими ергономічними показниками (K_2, K_3, K_4, K_5) і на заключному етапі визначається глобальний пріоритет типів екскаваторів, що розглядаються за всіма показниками з урахуванням їх значимості (рис.2.4).



Рис.2.4. Підсумкове ранжування представлених моделей екскаваторів

Стрімкий розвиток методів математичного моделювання на основі теорії нечітких множин дозволяє долати труднощі, пов'язані з якісним характером, а також неповнотою і розпливчастістю інформації, що отримують експерти [16].

В наш час швидко створюється світовий банк різних програмних розробок для роботи з нечіткою логікою, представлено біль ніж 200 розробок різних програм, які в різний спосіб користуються нечіткою логікою. Фахівцями у цих розробках є декілька фірм-розробників програмних продуктів.

Їхні програмні засоби спрямовані на використання нечіткої логіки в як найбільшій кількості програм та розробок. [17].

Для виконання способу нечіткого програмування використовується спеціалізоване програмне забезпечення MatLab, а саме пакет розширення Fuzzy Logic Toolbox(рис.2.4).

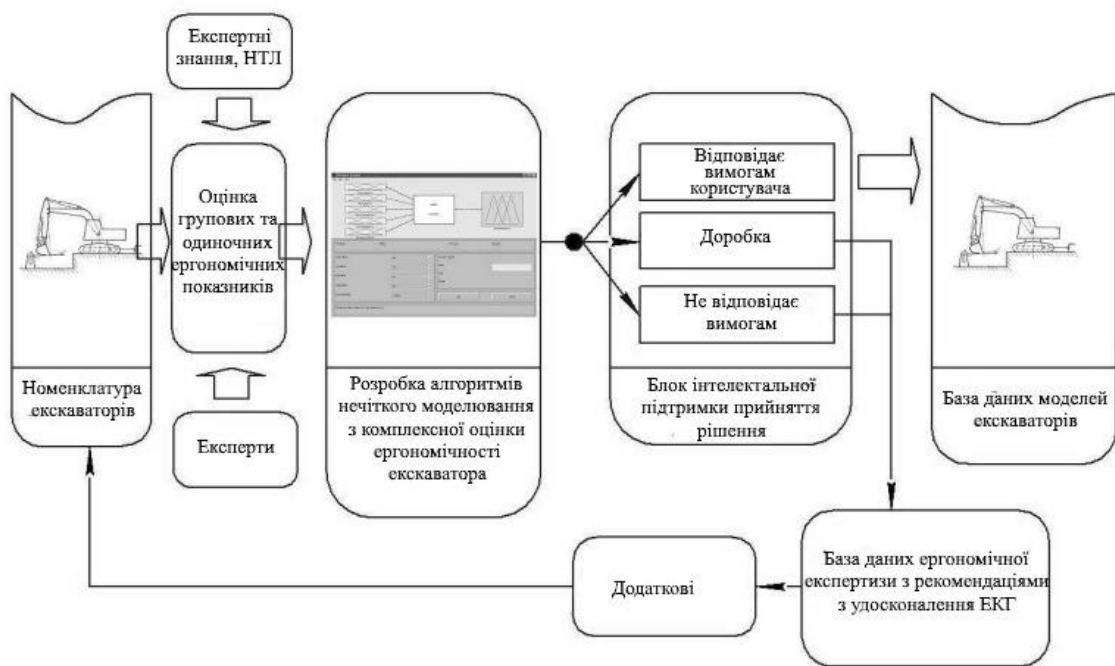


Рис.2.4. Етапи ергономічного дослідження кар'єрних екскаваторів на базі нечітко-множинного підходу

РОДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ МАШИНІСТА КАР'ЄРНОГО ЕКСКАВАТОРА

3.1. Автоматизовані системи ергономічного проектування

Зростання складності, масштабності та потенційної небезпеки створюваних технічних об'єктів різко загострюють проблему забезпечення надійності та безпеки при керуванні ними. Відбулися в останні роки великомасштабні аварії і катастрофи в різних країнах показали, що техніка є складним і суперечливим соціальним і природним феноменом. З одного боку, вона створюється заради людини і покликана вирішувати завдання розвитку суспільства, з іншого - вона ж незалежно від позитивних установок та розумних планів людей, які її створюють та використовують, може завдати їй непоправної шкоди природі та суспільству [18,19].

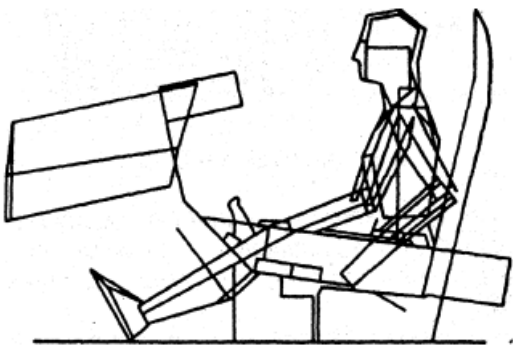
Основним, а найчастіше і вирішальним компонентом управління сучасною технікою є діяльність людини, характер якої значно змінюється внаслідок інтенсивного розвитку засобів автоматизації. Це призводить до суттєвої зміни характеру ергономічних вимог під час її проектування.

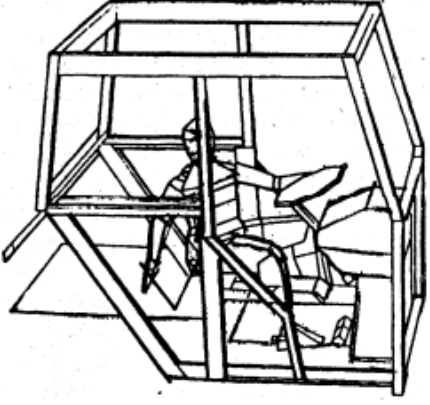

| Елементи робочого простору | | Елементи обладнання (ЕО) | Вимоги до ЕО | Загальні вимоги до робочого простору |
|----------------------------|------------------|--------------------------|--|--|
| Сидіння | | Сидіння | ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартів безпеки праці. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги | ДСТУ EN 614-1:2014 Безпечність машин. Ергономічні принципи проектування. Частина 1. Термінологія та загальні принципи (EN 614-1:2006+A1:2009, IDT) |
| | | Спинка | | |
| Пульт керування | панель | Прилади | ДСТУ EN 894-3:2017 Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування (EN 894-3:2000 + A1:2008, IDT) | |
| | | Перемикачі | | |
| | | Панель перемикачів | | |
| | Органи керування | Руль | | |
| | | Ричаги перемикачів | | |
| | | Гальмівний ричаг | | |
| Педаль | Гальма | | | |
| | Зчеплення | | | |
| | педаль | | | |

Ефективним засобом ергономічного проектування є автоматизовані моделі проектування (САПР), що складаються з комп'ютера, графічних пристроїв введення - виведення та різних програм. Автоматичні системи ергономічних розробок набувають розвитку під дією загальних процесів розвитку автоматизації проектів. Розрізняють такі традиційні системи автоматизованого проектування робочих місць: статичні системи, кінематичні системи, динамічні системи (таблиця 3.1)

Таблиця 3.1.

САПР робочих місць

| Різновиди САПР | Можливості САПР | Розроблені моделі |
|------------------|---|--|
| Статичні системи | <p>1.Дозволяють спостерігати положення оператора на робочому місці в різних позах.</p> <p>2. Використовуються для визначення зон досяжності та візуальної оцінки ступеня зручності пози.</p> <p>3.Дозволяють отримувати зображення оператора в проекції на три координатні площини.</p> <p>4.Дають можливість довільно змінювати розміри тіла</p> |  <p>Модель системи VOEMAN</p> |

| | | |
|---------------------|--|--|
| | манекена-оператора на екрані | |
| Кінематичні системи | Генерують на екрані зображення, оператора або оператора, що рухається, в різних позах |  <p>Модель системи SAMMIE</p> |
| Динамічні системи | Дозволяють оцінювати сили та моменти, необхідні для виконання певних рухів. Визначати моменти сил у суглобах при виконанні певних завдань (для цього в комп'ютер введені відомості Про мас-інерційні характеристики тіла людини). Робоча поза оператора в цій системі може бути задана командою, а потім уточнена при подальшій роботі |  <p>Стандартні (основні) пози. Модель системи ADAM</p> |

Серед антропометричних характеристик людини розрізняють класичні та ергономічні розміри тіла, а серед останніх – статичні та динамічні. Даний поділ умовний, так як антропометричні визначення відбуваються в статичному, незмінному положенні. При проектуванні користуються ергономічними розмірами, які визначаються за різних положень тіла людини, що умовно імітують його робочі пози. Статичні антропометричні ознаки визначаються при незмінному становищі людини. Вони поділяються на окремі розміри частин людини та загальні габарити, тобто найбільші розміри у різних позах людини (рисунок 3.1)

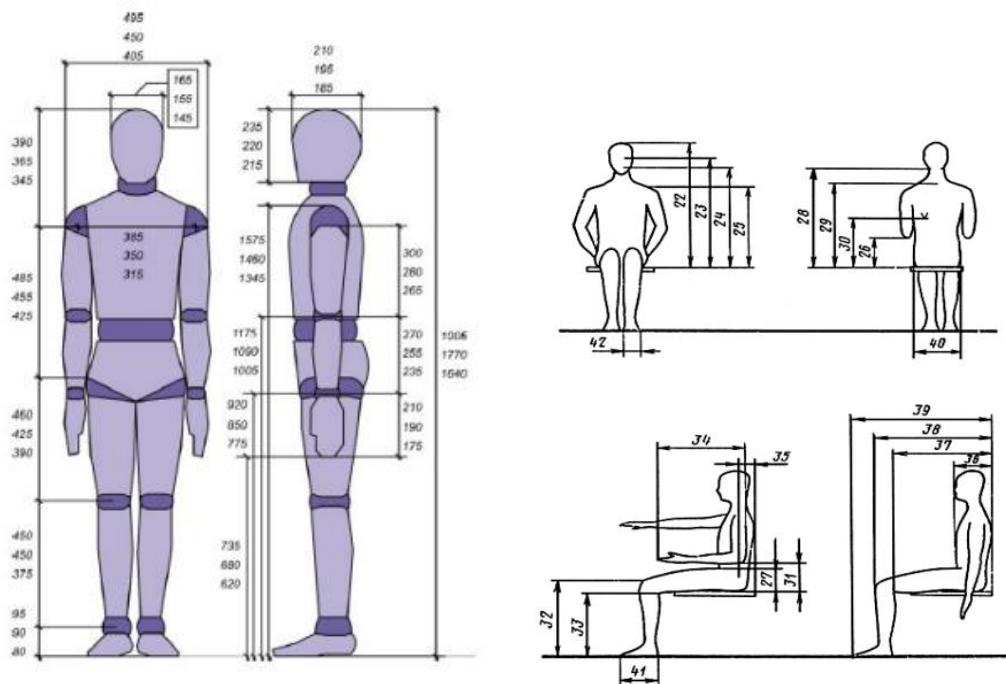


Рисунок 3.1- Основні антропометричні параметри дорослої людини (чоловіки) стоячи та сидячи.

Динамічні антропометричні ознаки, тобто розміри, які вимірюються під час руху працівника в просторі, характеризуються кутовими та лінійними переміщеннями (кути обертання у суглобах, лінійні зміни довжини руки при її переміщенні вгору, убік тощо).

Статичні антропометричні характеристики необхідні для розрахунків загальних параметрів робочого обладнання, розташування та габаритів сидіння. Динамічні антропометричні характеристики використовуються для

розрахунків областей досяжності при окремих положеннях працівника з урахуванням амплітуди робочих рухів систем управління (важелі, педалі тощо. п.). Деякі динамічні антропометричні характеристики пов'язані з кутами обертання суглобах (амплітуди робочих рухів). Динамічними антропометричними характеристиками є зони видимості і досяжності, також ці області можуть виокремлюватись при статичному розташуванні голови або її поворотах і нахилах. Крім статичних і динамічних антропометричних характеристик, можна виділити так звані габаритні характеристики. До них відносяться найбільші зовнішні розміри в поздовжньому, поперечному напрямках, а також масові (вагові) характеристики. Габаритні характеристики використовують із розрахунку максимального і мінімального простору, займаного тілом людини, щодо розмірів і конфігурації проходів, люків, аварійних виходів [19,20].

Для вирішення задачі просторово-антропометричної сумісності машиніста з елементами робочого місця кар'єрного екскаватора можна використовувати систему ергономічного проектування.

Система надає такі можливості:

- проектування робочого місця машиніста кар'єрного екскаватора та обладнання, побудова поверхонь з розміщення органів управління та засобів відображення інформації на основі моторних полів та полів зору із встановленням регульовальних параметрів;

- проектування манекена – машиніста кар'єрного екскаватора для ергономічних оцінок та проектування поверхонь з розміщення тіла машиніста, з урахуванням різноманіття антропометричних ознак людини.

При ергономічному проектуванні системи «людина-екскаватор» необхідна формалізація ергономічних характеристик, що закладаються в математичну модель людини - машиніста кар'єрного екскаватора. Ряд окремих фізіологічних характеристик можна відтворити на моніторі у більшому масштабі для оперативного спостереження за станом людини машиніста, окремих частин його тіла чи сегментів ергономічної моделі. За

антропометричними параметрами людини створюється імітаційна модель машиніста (манекен), манекен міститься в імітаційну кабінку екскаватора. Розроблена біомеханічна модель тіла людини сприяє ефективному проектуванню робочого простору людини завдяки повному обліку її біомеханічних особливостей та можливостей (рисунок 3.2).

Комп'ютерна модель розроблена мовою Visual Basic. Тривимірна сцена з імітаційними моделями ландшафту, екскаватора та машиніста екскаватора зображена за допомогою 3d studio MAX – віртуальна реальність.

У системі автоматизованого проектування враховуються: технічні засоби діяльності (робоче місце – кабіна машиніста кар'єрного екскаватора); трудовий процес; виробниче середовище (освітленість та вібрація на робочому місці); індивідуальні особливості (антропометричні характеристики людини).

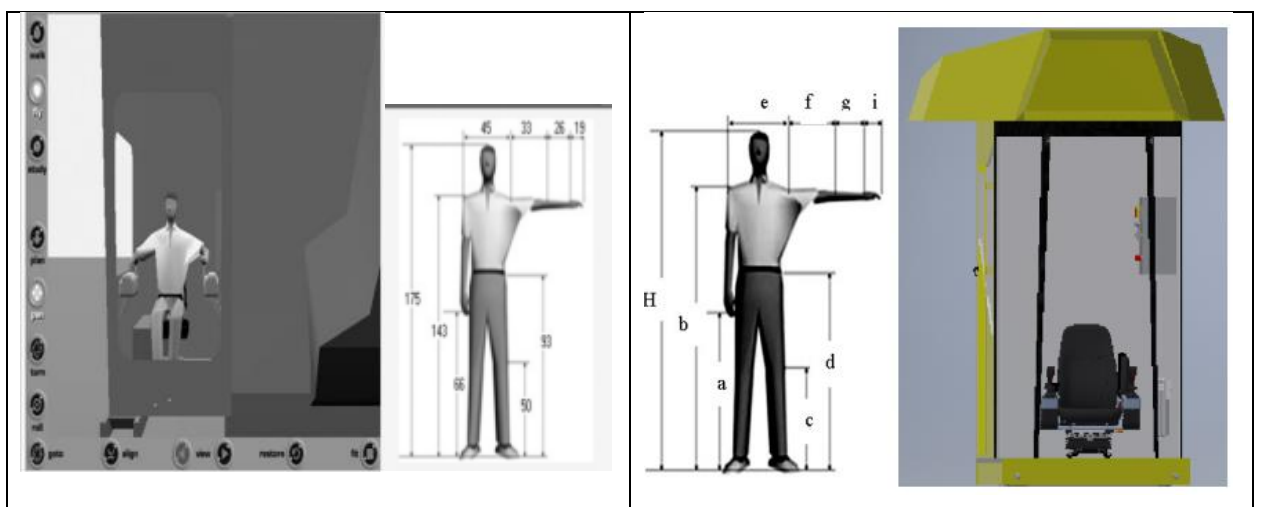
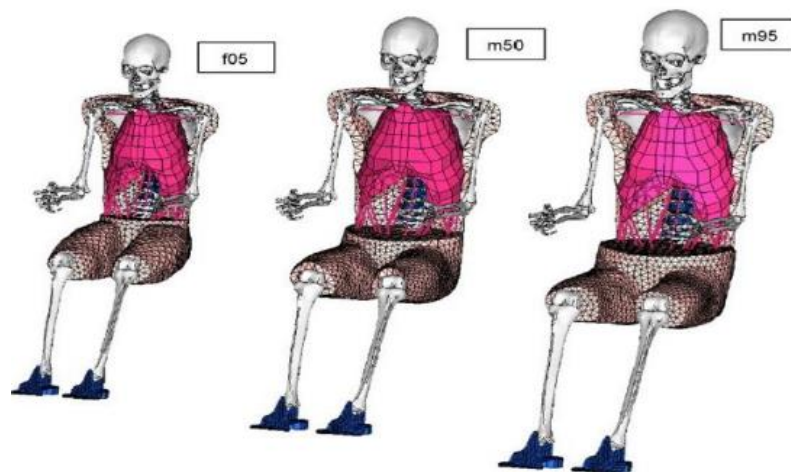
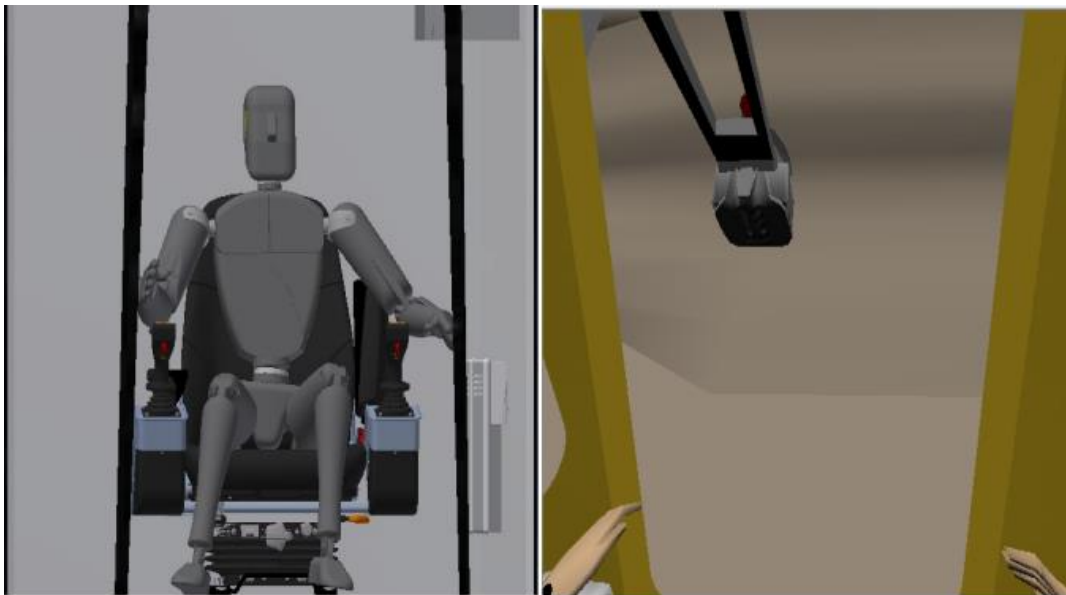


Рис.3.2. Моделі CASIMIR з 5, 50, 95 перцентилями та імітаційна модель машиніста та кабіни кар'єрного екскаватора.

Система автоматизованого проектування складається із трьох основних підсистем:

- Компонування робочого місця, оглядовість робочих просторів (рис. 3.2, 3.3)
- Освітленість робочих просторів екскаватора (рисунок 3.4).
- Віброізоляція робочого місця.

Діапазон розв'язуваних завдань створеної САПР дозволяє здійснити комплексний підхід до проектування складної системи «людина-екскаватор» використанням ЕОМ.



Вимоги до кабіни оператора

| Параметри кабіни | Параметри, що нормуються |
|---|--------------------------|
| <p>1-кабіна, 2-контрольна точка, 3-руль</p> | R=960 |
| | a=365 |
| | b=900 |
| | r=80 |

Рис. 3.3 – Вимоги та огляд з кабіни кар'єрного екскаватора.

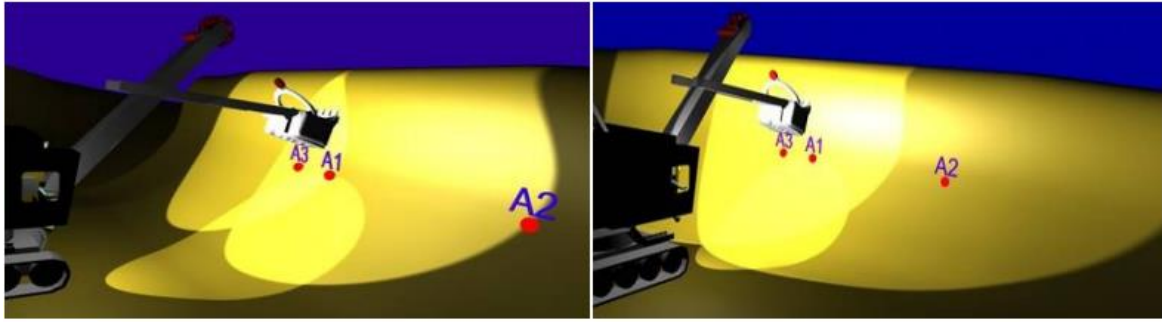


Рис. 3.4 – Освітлення робочого простору різними типами прожекторів.

При проектуванні об'єктів «капсульної» системи (мінімального простору) необхідно, щоб вони відповідали не лише всім заданим параметрам, але й були оптимальними за просторовими характеристиками та максимально комфортними, зручними та безпечними за експлуатаційними якостями. Такий підхід має стати основним для проектування об'єктів з мінімальними габаритами. Оскільки антропометричні характеристики визначають відповідність розмірів «виробу» формі тіла людини, розподілу маси її тіла, враховують розміри голови та кисті руки, то необхідно здійснити правильний вибір габаритів (просторових характеристик) конструкції «капсули» щодо анатомічних особливостей людського тіла. При цьому враховуються не лише власне анатомічні особливості, а й можливість руху з урахуванням робочого стану, положення стоячи, час активного використання обладнання капсули.

Проаналізувавши існуючі приклади використання «капсульної» системи, виходячи зі специфіки компонування кар'єрного екскаватора, габаритних розмірів кабіни та відповідно до світової практики класифікації кабіни, цей підхід прийнято в проектуванні кабіни кар'єрного екскаватора.

Класифікація кабін:

1. Falling Object Protective Structures (FOPSs) – структура кабіни захищає від падаючих об'єктів:

а) Рівень I – структура кабіни захищає від ударів з енергією, що не перевищує 1,4 кДж, що відповідає ударам цегли, дрібних шматків породи або ручного інструменту.

б) Рівень II – структура кабіни забезпечує захист від ударів з енергією до 11,6 кДж, захищає від обвалення дерев або середніх шматків породи.

2. Захисні конструкції проти кам'яних обвалів (RSPSs) – структура кабіни захищає від ударів з енергією принаймні 60 кДж. Це значення відповідає падінню великих шматків породи.

3. Кабіна або конструкція проти перекидання (ROPSs) – прохідні захисні конструкції (ROPS) – захищають під час перекидання машини.

4. Конструкції захисту при перекиданні (TOPSs) – мають структуру, еквівалентну ROPS та виділену до менших, так званих компактних екскаваторів.

Засобами програмного комплексу Autodesk Inventor створено віртуальну 3D-модель кабіни кар'єрного екскаватора, за основу в розробці прийнято модульну кабіну для кар'єрного екскаватора (рисунок 3.5).

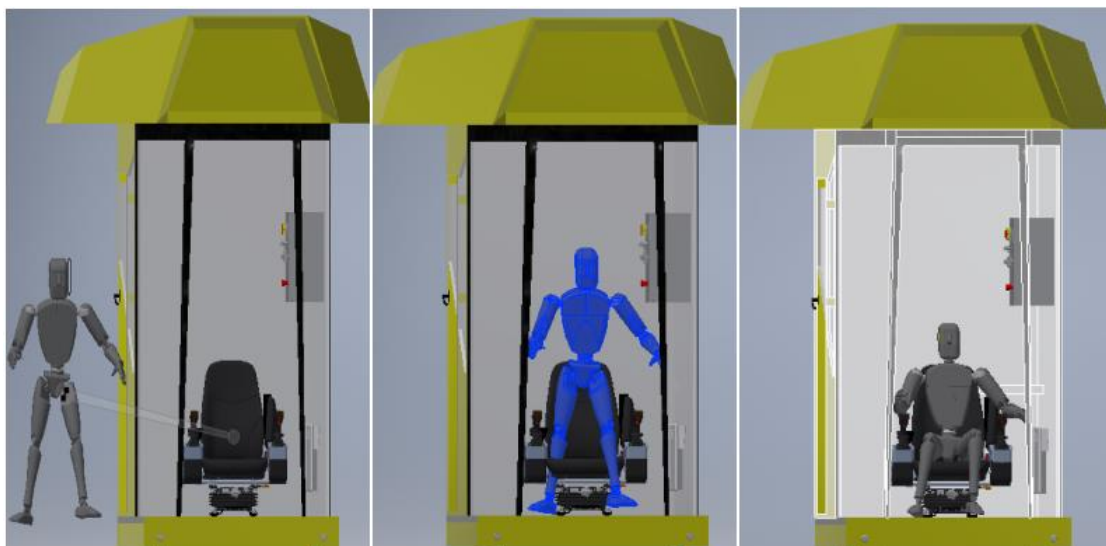


Рис. 3.5 – 3D-модель кабіни екскаватора відповідно до RSPSs.

3D-модель кабіни може бути доповнена віртуальною моделлю машиніста для встановлення відповідності кабіни антропометричним характеристикам машиніста з використанням програмних можливостей (див. рис. 3.5 а). Антропометричні характеристики машиніста кар'єрного екскаватора визначають відповідність розмірів кабіни формі тіла людини, розподілу маси її тіла, при цьому враховуються як власне анатомічні особливості, та і можливість рухів з урахуванням робочого стану під час активного використання обладнання кабіни кар'єрного екскаватора (див. рис. 3.5, б).

На рис.3.6 показано вимоги до робочого крісла оператора

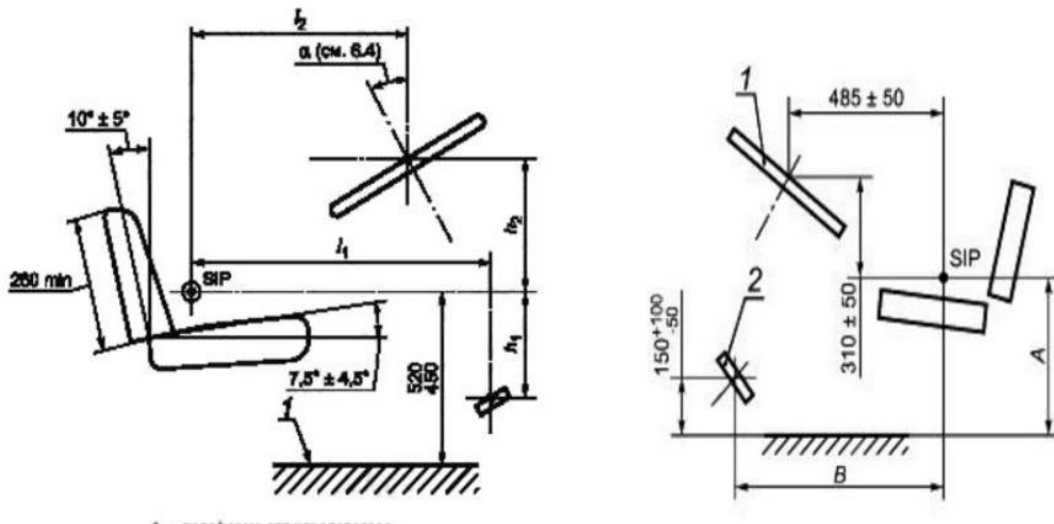


Рис.3.6. Розміри робочого крісла.

3.2 Огляд з робочого місця машиніста кар'єрного екскаватора

Удосконалення методів щодо визначення оглядовості, освітленості робочих просторів та компонування робочого місця машиніста як складових керованості екскаватора визначається необхідністю у підтримці конкурентоспроможності зразків екскаваторної техніки.

Оглядовість - один з основних ергономічних показників керованості кар'єрного екскаватора, що впливає на інформаційну підтримку та підготовку машиніста для прийняття рішень. У загальному випадку під оглядовістю розуміють конструктивну властивість, що характеризує об'єктивну можливість та умови сприйняття машиністом візуальної інформації, необхідної для безпечного та ефективного керування машиною.

Встановлено, що близько 20% помилок, що призводять до аварій та нещасних випадків, відбуваються на стадії сприйняття інформації та близько 30% - при реалізації прийнятого рішення.

Щодо кар'єрного екскаватора вважається, що якість оглядовості та видимості заданих об'єктів спостереження з робочого місця машиніста кар'єрного екскаватора залежить від конструктивної досконалості та

положення кабіни щодо стріли та кузова, площі скління, розмірів скла, ширини та числа перемичок.

Важливою характеристикою є візуальна інформативність виробничої зони та робочого простору машиніста. На базі ортогональних креслень екскаватора та натурних моделей розосередження погляду з робочого місця машиніста визначаються зони обов'язкового сприйняття, надано діапазони значень коефіцієнтів оглядовості об'єктів переважного та періодичного спостереження.

За міру огляду кожного із заданих об'єктів спостереження встановлено коефіцієнт огляду K_{iO} , що змінюється від 0 до 1. Огляд об'єктів спостереження виражається поверхнею, лінією чи кутом. Коефіцієнт огляду поверхні або лінії визначається як відношення площі або лінії видимої частини об'єкта до загальної площі або лінії необхідного огляду. Для точкових об'єктів коефіцієнт огляду дорівнює одиниці, якщо об'єкти знаходяться в полі зору, і нулю, якщо - поза увагою.

Об'єкти спостереження на кар'єрних екскаваторах поділяються на дві групи:

- об'єкти переважного спостереження – вибій, ківш з рукояттю, транспорт, стріла;
- об'єкти періодичного спостереження – пульт управління, гусениці, верхня кромка вибою (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2.

Коефіцієнти огляду об'єктів спостереження з кабіни екскаватора

| Коефіцієнт огляду об'єктів переважного спостереження ($K_{jMO}pr$) | Коефіцієнт огляду об'єктів періодичного спостереження ($K_{jMO}per$) | Бальна оцінка | Лінгвістична інтерпретація |
|--|--|---------------|----------------------------|
| $>0,9$ | $>0,7$ | 5 | В полі зору |
| $0,89 \div 0,7$ | $0,69 \div 0,6$ | 4 | Достатня оглядовість |

| | | | |
|--------------|--------------|---|--------------------------|
| 0,69÷0,6 | 0,59÷0,5 | 3 | Задовільна оглядовість |
| 0,59÷ (-1,0) | 0,49÷ (-1,0) | 2 | Незадовільна оглядовість |
| < (-1,0) | < (-1,0) | 0 | Поза увагою |


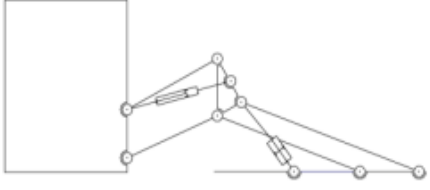

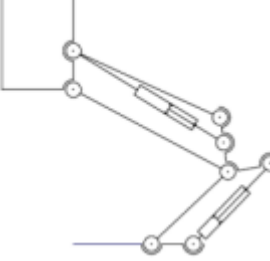

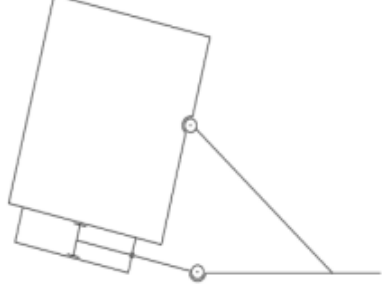
Таким чином, на основі моделювання картин оглядовості та розрахованих коефіцієнтів огляду можна визначити що видимість об'єктів переважного та періодичного спостереження залежить більшою мірою від розташування кабіни щодо екскаватора, робочого місця оператора та конфігурації віконних отворів.

Технічне рішення підйому та опускання кабіни екскаватора в даний час застосовується в конструкціях будівельних екскаваторів малого класу з масою кабіни до 0,5 т. Рухомими кабінами оснащені машини моделей МН3049, МН3059, 330D МН компанії Caterpillar, моделі EC480D з функцією Step Safe Cab концерну Volvo, перевантажувачі на базі пневмоколісних гідравлічних будівельних екскаваторів (таблиця 3.3) [19,20].

Таблиця 3.3.

Відомі механізми підйому кабін

| Тип обладнання | Загальний вигляд | Кінематична схема механізму зміни положення кабіни |
|-----------------------|---|---|
| Hitachi ZX240LC-5G |  |  |

| | | |
|-----------------------|--|--|
| Volvo EC480D |  |  |
| Caterpillar MH3049 |  |  |
| КС-54712 |  |  |

На основі аналізу існуючих конструкцій кабін кар'єрних екскаваторів, а також патентного пошуку нових пропозицій щодо вдосконалення оглядових якостей кабін дозволили розробити механізм підвищення їх оглядовості. Запропонована конструкція механізму дозволяє підвищити ефективність використання кар'єрних екскаваторів за рахунок зміни положення кабіни як у вертикальній площині, так і в горизонтальній. За основу прийнято використання підйомника важільного типу (рисунок 3.6).

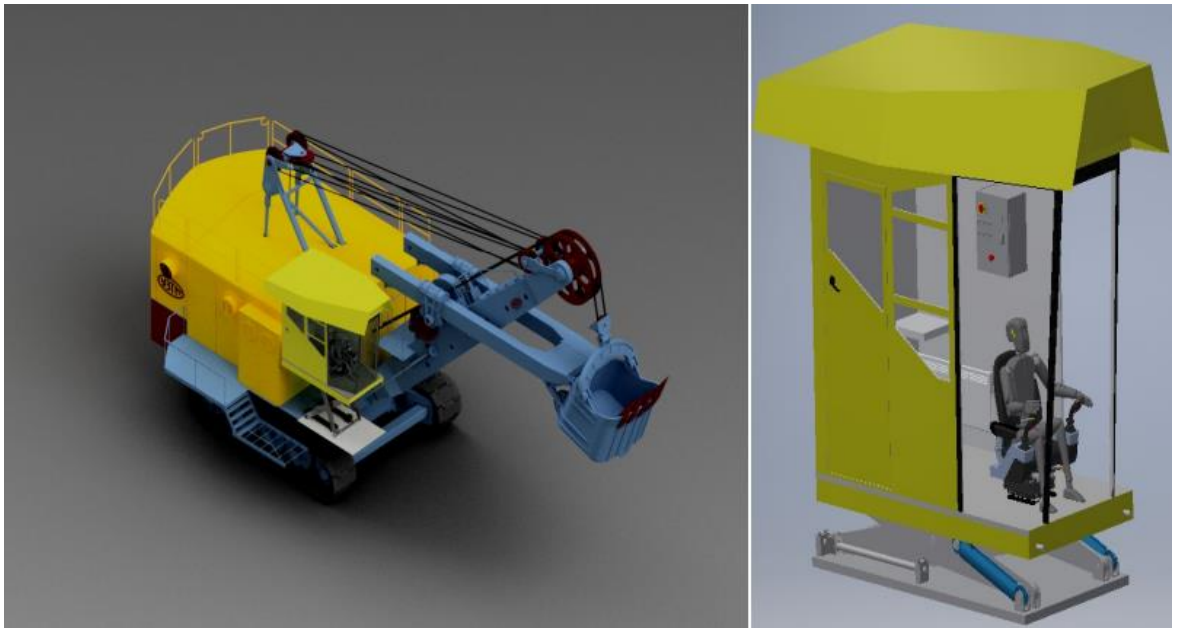


Рис. 3.6 – 3D – модель кар'єрного екскаватора зі змінним положенням кабіни.

У спеціалізованій програмі Autodesk Inventor можна спроектувати та розрахувати методом кінцевих елементів параметричний 3D-прототип механізму в основних розрахункових положеннях. Змоделювати наступні навантаження, що діють на конструкцію механізму: від власної маси конструкції; зосереджена сила від ваги кабіни, а також є можливість варіювати масу кабіни та швидкість її підйому.

Механізм складається з опорної основи, на якій закріплені два паралельно розташованих ножичні механізми, що складаються з важелів, що перехрещуються, підйомної платформи, на якій встановлюються модульна кабіна і гідроциліндри (рисунок 3.7). Управління переміщенням кабіни здійснюється за допомогою змонтованого у ній виносного пульта.

Аналіз результатів моделювання проводиться у вигляді порівняння картин оглядовості з кабіни при її стандартному положенні та при використанні механізму важільного типу. За рахунок реалізації конструктивного рішення забезпечується 100% огляд кузова автосамоскида і ковша, що стосується огляду в стандартному розміщенні кабіни, то огляд кузова становить – 0,75 (рисунок 3.8).

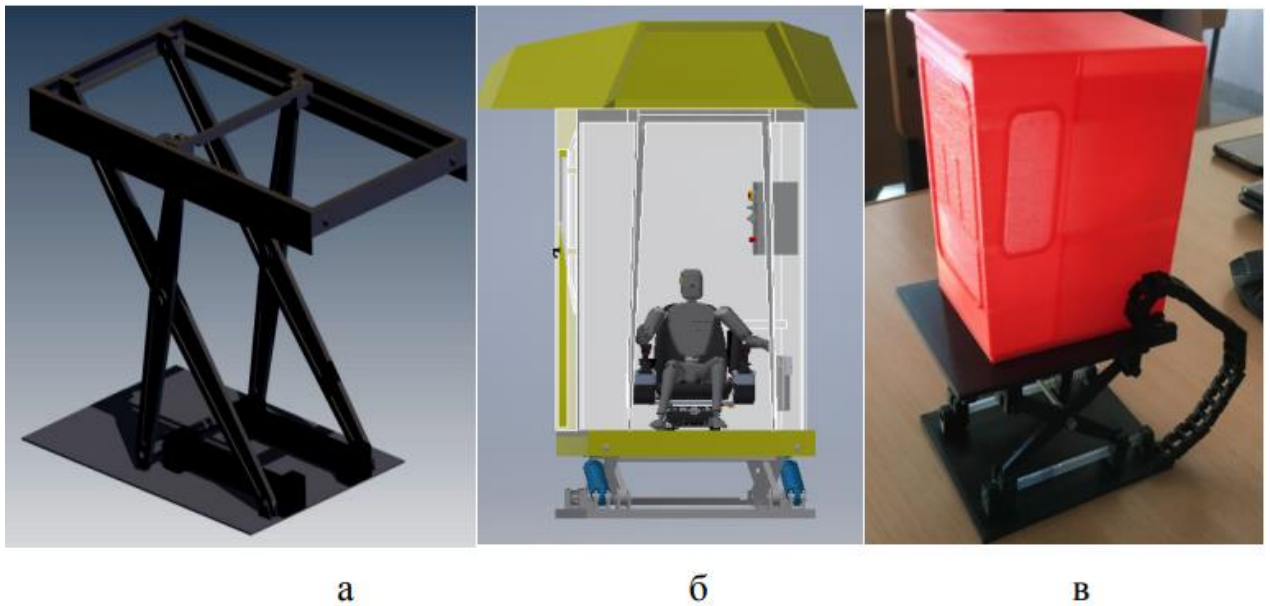


Рисунок 3.7 – Моделювання у програмному комплексі Autodesk Inventor:
 а – механізм важільного типу; б - механізм важільного типу з модульною кабіною; в – 3D друк моделі.

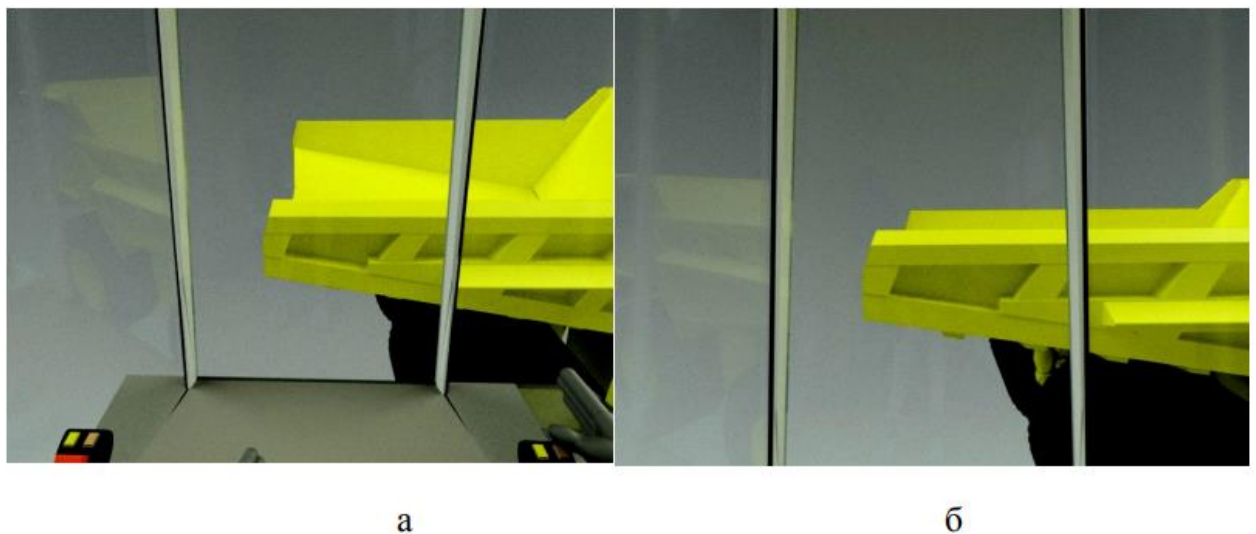


Рисунок 3.8 – Моделювання у програмному комплексі Autodesk Inventor:
 а – картина оглядовості за зміни положення кабіни;
 б – картина оглядовості при стандартному положенні кабіни.

Впровадження такого технічного рішення дозволить оператору контролювати не тільки висоту ковша щодо кузова під час розвантаження, але й мінімізувати силу удару гірської маси по днищу, а також збільшить візуальну інформативність завантаження автосамоскидів. В результаті використання механізму збільшиться середнє завантаження автосамоскидів відповідно до

паспорта, зменшиться розкид значень завантаження (недовантаження або перевантаження) [21].

Таким чином, таке технічне рішення щодо модернізації кар'єрних екскаваторів орієнтоване на практичне застосування та розширює технологічні можливості екскаваторів шляхом використання підйомника кабіни. Впровадження пристрою дозволить підвищити ефективність виконання технологічних завдань за рахунок більш повного використання експлуатаційних можливостей машини при зменшенні впливу факторів, що обмежують оператора з боку навколишнього середовища та машини.

| Параметри обладнання | | Нормовані параметри обладнання | |
|----------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Педалі | Розташування | <p>1-зона розташування педалей</p> | (625...715) ±20 мм |
| Руль | Розташування РК | <p>1- Зона розташування РК</p> | 485±50 мм |
| | Кут нахилу РК | от 0° до 40° | От 10° до 30° |
| 50мм 25мм | Для ОК двигуном | | |
| | Для інших ОК | | |

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Економічну ефективність ергономічного забезпечення визначають для обґрунтування доцільності його розробки, визначення його впливу на загальну економічну ефективність системи, порівняння конкуруючих варіантів системи за економічними показниками, оцінки діяльності колективів розробників.

Економічна оцінка ергономічних розробок здійснюється у наступній послідовності:

- визначення категорії ергатичної системи - розрізняють системи з жорстким технологічним графіком, з регульованим технологічним графіком та заданим обсягом робіт;

- визначення можливих джерел економії, які залежать від типу ергатичної системи (таблиця 4.1);

- вибір базового варіанта ергатичної системи, зазвичай як його приймають такий за призначенням варіант, у якому дана ергономічна технологія ще не реалізована;

- уточнення переліку вихідних даних та розрахункових формул визначення економічного ефекту в залежності від типу системи, її базового варіанта та конкретних умов застосування ергономічної розробки;

- розрахунок річної економії експлуатаційних витрат від кожного джерела, а також необхідні для впровадження розробки капітальних вкладень;

- визначення величини економічного ефекту та ефективності ергономічної розробки;

- висновки та рекомендації для подальших аналогічних розробок.

Таблиця 4.1

Можливі джерела отримання економічного ефекту

| Джерело | Тип ергатичної системи | | |
|---------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| | З жорстким технологічним графіком | З регульованим технологічним графіком | Із заданим обсягом робіт |

| | | | |
|--|---|---|---|
| Зменшення втрат робочого часу | - | + | - |
| Скорочення чисельності персоналу | + | + | + |
| Підвищення надійності ергатичної системи | + | + | + |
| Підвищення терміну служби системи | + | + | + |
| Зниження травматизму та профзахворювань | + | + | + |
| Зменшення плинності кадрів | + | + | + |

Проведено економічну оцінку ефективності заходів щодо вдосконалення ергономічного забезпечення кар'єрних екскаваторів (таблиці 4.2-4.3)

Таблиця 4.2

Характеристика джерел ефекту під час впровадження організаційно-технічних заходів

| Захід | Джерела ефекту та їх характеристика | | |
|---|---|-------------------------------------|--|
| | На мікрорівні (економіка підприємства) | На макрорівні (Економіка країни) | Соціальний |
| Підвищення рівня ергономічного забезпечення кар'єрних | Зростання продуктивності праці за рахунок | Зростання ВВП (показника валового | Створення ергономічних умов праці для операторів |

| | | | |
|---|--|---|--|
| екскаваторів за рахунок реалізації конструктивних рішень | зниження часу простоїв екскаваторів | внутрішнього продукту) | |
| | Економія на інвестиціях при необхідності заміни екскаватора | Вирішення проблеми зношеності обладнання у гірничодобувній галузі | |
| | Збільшення терміну служби кар'єрних екскаваторів в 1,5 рази | (Необхідність оновлення парку обладнання) (знос 70%) | |
| Підвищення ефективності внутрішньофірмового навчання персоналу гірничих підприємств | Зростання продуктивності праці за рахунок вищої кваліфікації операторів кар'єрних екскаваторів | Рішення проблеми дефіциту трудових ресурсів | Підвищення кваліфікації, зниження плинності кадрів |

Таблиця 4.3

Показники оцінки економічного ефекту від застосування заходів щодо підвищення рівня ергономічного забезпечення кар'єрних екскаваторів

| | |
|---|--|
| Джерело економічного ефекту | Показник, кількісно або якісно характеризує досягнутий ефект |
| Ефекти на мікрорівні (економіка підприємства) | |

| | |
|---|--|
| Зростання продуктивності праці за рахунок зниження часу простоїв кар'єрних екскаваторів | Приріст обсягу робіт (у відсотках, у грн. для 1 ЕКГ) |
| Зростання продуктивності праці за рахунок більш високої кваліфікації операторів | Приріст обсягу робіт (у відсотках, у грн. для 1 ЕКГ) |
| Збільшення терміну служби екскаваторів | Економія витрат (у грн. за рік) |
| Економія на інвестиціях за потреби заміни екскаватора | Економія на інвестиціях (у грн. за рік) |
| Ефекти на макрорівні (економіка країни) | |
| Зростання ВВП (показника валового внутрішнього продукту) | Приріст ВВП (у відсотках, у грн. для 100 ЕКГ) |
| Вирішення проблеми зношеності обладнання в гірничодобувній галузі | Кількісно не оцінюється |
| Вирішення проблеми дефіциту трудових ресурсів | Кількісно не оцінюється |
| Соціальні ефекти | |
| Створення ергономічних умов праці для працівників | Кількісно не оцінюється |
| Підвищення професіоналізму, кваліфікації працівників, зниження плинності кадрів | Кількісно не оцінюється |

Таблиця 4.4.

Методика розрахунку економічного ефекту

| | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------|
| Приріст обсягу робіт (у грн в | $\Delta Q_{\text{грн}}$ – приріст обсягу робіт, грн. на 1 ЕКГ; | $\Delta Q_{\text{грн}}=200\ 261\ 240$ | 12528 тис. грн. |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------|

| | | | |
|--|--|---|---|
| розрахунку на1 ЕКГ5А) | $Q_{см}^{н/с}$ -Обсяг робіт за зміну, м ³ ; $V_{см}^{н/с}$ – кількість змін на рік; Ц - ціна робіт, грн./м ³ . | | |
| Приріст Обсягу робіт (у відсотках) | $\Delta Q_{тр}$ – приріст обсягу робіт, % | $\Delta Q_{тр} = \frac{12528000}{62640000} \cdot 100\%$ | 20% |
| Економія витрат (у грн за рік) за рахунок збільшення терміну служби | $\Delta Z_{грн}$ – економія витрат, грн / рік; $A_{Огрн}$ - Сума амортизаційних відрахувань, грн / рік; $C_{ЕКГ}$ - Вартість ЕКГ, грн.; Тсс/н – термін служби обладнання, років | $\Delta Z_{грн} = 1666667 -$ 1250000 $A_{Огрн} =$ $\frac{20000000}{12/16} \cdot 100\%$ | 417 тыс. грн. в рік з одного ЕКГ |
| Економія на інвестиціях (в грн з одного ЕКГ) | $\Delta I_{грн}$ економія на інвестиціях в грн | $\Delta I_{грн} = (1666667 -$ 1250000) 4 | 1667 тыс. грн. в рік з одного ЕКГ |
| Приріст ВВП (у грн в розрахунку на 100 ЕКГ) | $\Delta ВВП_{грн}$ - Приріст ВВП на 100 ЕКГ, грн. | $\Delta ВВП_{грн} =$ $\Delta Q_{см} \cdot \Delta V_{см} \cdot Ц \cdot 100$ | 1252800 тыс. грн. в рік |

ВИСНОВКИ

Після проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

- Базовою складовою виїмково-вантажного обладнання більшості гірничодобувних підприємств залишаються кар'єрні канатні екскаватори з місткістю ковшів 5-10 м³. Ступінь зношеності парку цих машин сягає 70-90%. Експлуатація кар'єрних екскаваторів у такому стані призводить до зростання витрат на їх обслуговування, що в кінцевому підсумковому результаті впливає на збільшення собівартості видобутку та переробки продукції гірничодобувної галузі.

- В результаті анкетування працівників гірничих підприємств отримано експертні оцінки розподілу основних причин відмов та аварій екскаваторів для визначення пріоритетних напрямів підвищення надійності: організація та планування діяльності (24%), стаж (кваліфікація) екіпажу екскаватора (24%), гірничотехнічні умови експлуатації (22%), якість проектування, виготовлення (14%), кліматичні умови (13%),

-Ергономічність є критично важливим фактором зниження ризиків відмов кар'єрних екскаваторів, оскільки вона безпосередньо впливає на людський фактор і надійність оператора. Врахування ергономічних показників на етапі проектування та експлуатації гірничодобувного обладнання мінімізує ймовірність помилок, спричинених втомою або незручністю робочого місця.

-Ергономіка впливає на надійність екскаваторів через кілька ключових механізмів:

Зниження втоми оператора: Неергономічні умови (незручне сидіння, погана видимість, вібрація, шум) призводять до фізичного та розумового виснаження (втоми). Втомлений оператор менш уважний, повільніше реагує і схильний до помилок управління, що може призвести до перевантаження механізмів або аварій.

Мінімізація людського фактору (ергатичний фактор): Дослідження показують, що відмови недетермінованого характеру, що включають ергатичний та технічний фактори, становлять понад 60% від усіх відмов

кар'єрних екскаваторів типу ЕКГ. Помилки оператора або обслуговуючого персоналу можуть спричинити серйозні поломки.

Підвищення точності обслуговування та ремонту: Принципи ергономіки та людського фактору застосовуються не тільки до роботи в кабіні, але й до технічного обслуговування (ТО) та ремонту. Зручний доступ до вузлів та агрегатів, хороша видимість компонентів та зрозумілі інструкції знижують ймовірність помилок механіків при діагностиці та ремонті. Помилки при ТО можуть призводити безпосередньо до подальших відмов обладнання.

-Впровадження ергономічних принципів у конструкцію екскаваторів включає:

Оптимізація робочого місця: Використання ергономічних регульованих сидінь з підтримкою попереку та підлокітниками, правильне розташування важелів та педалей для зниження фізичного навантаження.

Покращення оглядовості: Застосування систем камер та дзеркал для усунення сліпих зон та зниження навантаження на оператора під час маневрування та реверсивного руху.

Зниження шкідливих впливів: використання систем активного придушення вібрації та шуму в кабіні, а також систем кондиціонування повітря для підтримки комфортного мікроклімату.

- Впровадження перспективних дистанційних систем керування та роботизованих гірничих машин з розширенням сфер їх застосування потребує перегляду та доповнення форм забезпечення безпечних та ергономічних умов праці операторів, у поєднанні з високим рівнем надійності діяльності людини за виконання технологічних операцій.

Таким чином, інвестиції в ергономіку обладнання – це пряма інвестиція у його надійність та безпеку експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN ISO 6385:2019 Принципи ергономіки в проектуванні систем. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 22 с.
2. ДСТУ EN ISO 9241-5:2004 Ергономіка взаємодії людина–система. Частина 5: Вимоги щодо фізичного середовища користувача. – Київ : Держспоживстандарт України, 2004. – 18 с.
3. ДСТУ ISO 11226:2007 Ергономіка. Оцінювання робочих поз. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 28 с.
4. ДСТУ ISO 11228-1:2007 Ергономіка фізичного навантаження. Частина 1: Піднімання та перенесення. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 34 с.
5. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів. – Київ : Мінпраці України, 2010. – 96 с.
6. Правила безпеки у вугільних шахтах та кар'єрах. – Київ : Мінекономіки України, 2021.
7. Шморгун В. Г., Костенко О. О. Ергономіка та проектування робочих місць : навч. посіб. – Київ : КНЕУ, 2018. – 244 с.
8. Кисельов М. М. Інженерна психологія та ергономіка : підручник. – Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2017. – 312 с.
9. Мешков В. М. Основи ергономік навч. посіб. – Харків : ХНУМГ, 2015. – 256 с.
10. Gyu, W.L. Development of an excavator simulator for an inteligent excavating system / W. L. Gyu, S. Im, E. Kon // Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea. – 2011. – P. 1445-1448.
11. Кузнецов В. А., Паньшин В. А. Карьерные экскаваторы: конструкция, эксплуатация, безопасность. – Дніпро : НГУ, 2016. – 290 с.
12. Копач П. І., Марчук М. М. Гірничі машини та обладнання. – Київ : НТУУ «КПІ», 2019. – 352 с.
13. Сидоренко В. Л. Ефективність роботи екскаваторів у кар'єрах та умови праці операторів. – Дніпро : НГУ, 2014. – 168 с.

14. Васьківська К. Ю. Аналіз ергономічних факторів робочого місця машиніста екскаватора // Гірнича електромеханіка і автоматика. – 2021. – № 2. – С. 45–52.
15. Шемет І. А. Ергономічне вдосконалення кабін гірничих машин // Вісник НТУ «ХПІ». – 2020. – № 47. – С. 89–95.
16. Kryvulya O., Marchenko M. Ergonomic assessment of operator workplaces of mining machines // Mining of Mineral Deposits. – 2019. – Vol. 13, No. 4. – P. 122–130.
17. Wang J., Zhang Y. Human–machine interaction analysis in excavator cabins // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2020. – Vol. 75. – P. 102–118.
18. Kumar S. Evaluation of operator posture and physical workload in heavy machinery operations // Applied Ergonomics. – 2018. – Vol. 72. – P. 67–76.
19. McAtamney L., Corlett E. RULA: Rapid Upper Limb Assessment // Applied Ergonomics. – 1993. – Vol. 24, No. 2. – P. 91–99.
20. Hignett S., McAtamney L. REBA: Rapid Entire Body Assessment // Applied Ergonomics. – 2000. – Vol. 31. – P. 201–205.
21. ISO 10075-1:2017 Ergonomic principles related to mental workload — Part 1: Terminology and definitions. – Geneva : ISO, 2017. – 18 p.