

**М. С. Магопець, В. В. Аулін**, проф., д-р. техн. наук, **А. В. Гриньків**, ст. дослід., канд. техн. наук  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*  
*e-mail: magmish@ukr.net, AulinVV@gmail.com*

## Вплив елементів ергономіки та мехатроніки на функціонування системи «оператор – мобільна машина»

Стаття присвячена основним аспектам ергономіки робочих місць водіїв транспортних засобів та операторів сільськогосподарської техніки. Обґрунтовано важливість ергономічного підходу на етапі проектування і експлуатації мобільних машин для забезпечення комфорту, безпеки, ефективності праці оператора та надійності системи «оператор – мобільна машина». Проаналізовано фактори, що впливають на ергономічність робочого простору оператора, наведено їх порівняльні характеристики з урахуванням специфіки їх експлуатації.

Особлива увага приділяється впливу ергономіки на експлуатаційну надійність мобільних машин, а також зниженню ймовірності помилок через втому оператора. Описано сучасні мехатронні системи керування, що сприяють автоматизації робочих технологічних процесів і підвищенню точності управління машинами. Зроблено висновок про те, що ергономіка і мехатроніка є ключовими факторами забезпечення безпеки, ефективності та безвідмовної роботи мобільних машин.

**система «оператор – мобільна машина», ергономіка, мехатронні системи, ергономічні показники, ефективність, надійність**

**Постановка проблеми:** Підвищення надійності і ефективності мобільних машин можливо реалізувати на практиці забезпеченням комфорту та безпеки роботи їх оператора. Незважаючи на значний прогрес у розвитку техніки, багато моделей системи «оператор – мобільна машина» мають недосконалі ергономічні характеристики. Це призводить до підвищення втомлюваності операторів, зниження продуктивності праці та збільшення ризику аварійних ситуацій та виходу з ладу мобільних машин, що визначає актуальність проведення наукових досліджень в цьому напрямі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження питань, що стосуються ергономічних показників та їх впливу на оператора та машину на сьогодні ще не знайшли належного висвітлення у науковій літературі. Окремі ергономічні показники досліджувались в роботі Анірбана Чоудхура та Чайтанья Качаре на прикладі автомобіля Shelby Cobra, однак дослідження стосувалось проблематики ергономіки даного автомобіля [1]. Вплив мехатронних елементів на комфортність і безпечність роботи операторів мобільних машин відображено в роботах [2,3,4], але не досліджувалось питання одночасного впливу як ергономічних, так і мехатронних показників на надійність і ефективне функціонування системи «оператор – мобільна машина». Антонелі Р., Коста Л., Естархіо А., Кейрос Р., Мартінс Ф., Мелло А. було дослідження ергономічні показники крісла водія та його матеріалів [5]. Пози для комфортного водіння визначили Парк С., Кім С. [6]. Науковцями Окунрібидо О., Шимблесом С. здійснено дослідження робочого місця водія автобуса, виокремлено вплив пози сидіння на та засобів керування автобусом на здоров'я водія [7]. Також дослідженням здоров'я водія автобуса займались Гоутам, С., Рамнат, М., Судхарсан, С., Кумар, Б. Л., Праніт, В., Дінеш, С. [8]. Однак відсутні дослідження, які б виокремили загальні ергономічні показники і потенціальні можливості мехатронних систем для комерційного транспорту (вантажні автомобілі, трактори, комбайни).

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є вплив ергономічної специфіки організації й наповнення мехатронними елементами робочого місця оператора в системі «оператор – мобільна машина».

Задачі:

1. Дати характеристику робочого місця оператора мобільної машини (автомобіля, трактора, комбайна).

2. Встановити основні ергономічні параметри та вимоги до них в системі «оператор – мобільна машина».

3. З'ясувати оснащеність сучасних мобільних машин ефективними мехатронними системами та виявити їх функціональні можливості.

**Виклад основного матеріалу.** Ергономіка – це наука про проектування машин, продуктів й систем для максимального підвищення безпеки, комфорту та ефективності діяльності основного й вирішального чинника – людини, що забезпечується застосуванням наукових принципів, методів й даних, отриманих із таких наукових сфер як: промислова інженерія, соціологія, психологія, антропометрія, біомеханіка й фізіологія, кіберфізика та мехатроніка, економіка, медицина тощо [10].

У дослідженнях з ергономіки, система «людина - середовище» розглядається як одне ціле, а досягнення кінцевого результату проектування забезпечується найбільш раціональним поєднанням параметрів (розмірів й форми, фізичної сили та обмежень, здібностей й навичок) людини та характеристик машини, що повинне створити оптимальні умови їх взаємодії та забезпечити безпечні умови праці й досягнення фізичного, психічного та соціального благополуччя людини [11].

На поточний час ергономіка проявляється багатьма різними формами й є невід'ємною частиною діяльності людини у всіх, без виключення сферах, найбільш важливою з яких беззаперечно виступає машинобудування.

Вона безпосередньо залежить від мобільної машини (ММ) на конструкцію транспортних засобів вже на перших етапах їх проектування, концептуально забезпечуючи необхідний майбутній зв'язок із умовами їх використання, комфортом та безпекою, економічністю й продуктивністю робочих процесів тощо [12].

В найбільшій мірі це стосується ергономіки робочих місць операторів (водіїв), які безпосередньо забезпечують реалізацію функціоналу ММ. До основних факторів впливу на рівень ергономічності внутрішнього простору кабін ММ прийнято відносити: ступінь заповнення робочого простору; доступність посадки та висадки; комфортність (зручність посадки в сидіння, рівень шуму та вібрацій, мікроклімат) [13]; тактильні відчуття й сенсорне сприйняття; зручність роботи із органами керування (їх розташування та зусилля, що прикладаються); оглядовість та зовнішню видимість.

Ергономічна специфіка організації наповнення робочих місць залежить від характеру роботи, що виконується й поставлених завдань та особливостей предметного середовища. На рис. 1 представлені типові сучасні робочі місця водія вантажного автомобіля та операторів трактора й комбайну, Можна бачити, що за ергономічними показниками вони мають багато спільного.

У відповідності до існуючої класифікації робочих місць (таблиця 1), мають й суттєві відмінності, що обумовлюється різними умовами експлуатації машин (таблиця 2), специфікою роботи й тривалістю робочих змін.

Спільним в організації їх робочих місць є те, що розташування водія (оператора) визначається безпосередньо умовами керування ММ (автомобілем, трактором, комбайном), що зумовлює активацію органів керування (керма, важелів, педаль, перемикачів, кнопок, джойстиків, дисплею тощо), здійснюється спостереження за дорогою та характером руху, індикаторами панелі приладів та обмеженнями, що накладаються правилами безпеки використання систем і механізмів.



в

а – вантажні автомобілі; б – трактори; в – комбайни.

Рисунок 1 – Особливості організації робочих місць транспортних засобів, дорожньої та сільськогосподарської техніки

Джерело: розроблено на основі [14].

Таблиця 1 – Характеристика робочого місця водія автомобіля, оператора трактора й комбайна у відповідності і до прийнятої класифікації

Критерій диференціації робочих місць	Класифікаційний ряд робочих місць
За кінцевим продуктом	Основне
За категорією працівника	Оператор
За взаємодією працівників	Індивідуальне
За способом розміщення	Ізольоване
За способом керування засобами праці	Ручне керування, механізоване або автоматизоване
За рівнем спеціалізації засобів праці	Спеціалізоване
За кількістю основного обладнання	Одна мобільна машина
За ступенем переміщення людини	Переміщення разом із транспортним засобом (машиною)
За ступенем рухомості робочого місця	Нерухоме
За положенням тіла працівника	Сидячи

Джерело: розроблено авторами з використанням роботи [15].

Зазначимо, що при цьому дуже важливо забезпечити можливість виконання водієм (оператором) певних рухів із мінімальними змінами його пози та максимальної природності, через те, що робочий процес може тривати до 12 годин на добу; задля формування раціональної амплітуди рухів та уникнення їх зайвої кількості, управління машиною має бути простим та зручним, а необхідне зусилля оператора під час впливу на органи керування – мінімальним. Педалі, важелі й кнопки повинні бути раціонально розташовані, із забезпеченням інтуїтивності їх знаходження та легкості активації й фіксації. Важливим фактором при цьому виступає правильність проектування робочого місця, оскільки від рівня його комфортності залежить як рівень продуктивності праці, так й вірогідність виникнення ризиків травмування оператора та інші фактори [17]. Зазначене дозволило визначити певні відмінності у вимогах до ергономіки робочих

місце водія вантажного автомобіля та оператора трактора (таблиця 3).

Таблиця 2 – Основні ергономічні параметри системи оператор-мобільна машина

Ергономічні параметри	Водій вантажного автомобіля	Тракторист (комбайнер)
Тип руху	Високі швидкості, переважно дороги із твердим покриттям загального користування	Низькі швидкості, складний рельєф (грунтові дороги, поле (грунт, стерня, рілля))
Час роботи	Тривалі поїздки, але із визна-ченими плановими перервами (наприклад, за тахографом)	Довгі зміни (інколи понад 10 годин), часто безперервна робота впродовж сезону
Рівень вібрацій	Мінімальні вібрації на дорогах з якісними асфальтобетонним покриттям	Високий рівень вібрацій через нерівність ґрунту
Керування	Стабільний рух, інколи робота із причепами та виконання навантажувально-розвантажувальних операцій	Постійна зміна швидкості, маневрування на полі, керування навісним обладнанням
Кліматичні умови	Переважно робота на дорогах загального користування	Робота в польових умовах під відкритим небом при підвищеному рівні запиленості, ймовірність перегріву

Джерело: розроблено авторами з використанням роботи [16].

Таблиця 3 – Вимоги до ергономічних параметрів в системі оператор-мобільна машина

Ергономічні параметри	Водій вантажного автомобіля	Тракторист (комбайнер)
Ергономіка сидіння та компенсація вібрацій	- амортизація сидіння важлива, але основний акцент спрямований на зручну позу для тривалого сидіння; - широкий діапазон налаштувань сидіння для різної комплекції водія.	- сидіння повинно мати амортизацію, оскільки трактор працює на нерівних поверхнях; - обов'язкові підлокітники, регулювання нахилу, підголівник для зменшення втоми; - потрібна вібраційна ізоляція кабіни та сидіння.
Органи управління та прилади	- панель приладів оптимізована для довготривалого руху по трасі, зручний доступ до мультимедіа, тахографа, кондиціонера та ін. ; - управління автоматизоване, зменшений рівень фізичного навантаження на водія.	- багато додаткових органів управління (важелі, джойстики, монітори) для контролю навіску, гідравліки, трансмісії, GPS; - прилади розташовані так, щоб забезпечити швидкий доступ без відволікання від контролю за полем; - важливою є захищеність електроніки від пилу та вологи.
Оглядовість та система дзеркал	- велика площа дзеркал для контролю кузова/причепа; - додаткові камери для маневрування на паркувальних та завантажувальних майданчиках.	- панорамна оглядовість для контролю роботи навісного обладнання; - камери заднього виду та бічного спостереження для безпечного маневрування.
Комфортність робочого простору	- важливий комфорт для тривалих поїздок: спальне місце, кондиціонер, обігрів, холодильник; - ергономічне розташування керма, панелі управління для зниження втоми.	- посилена шумо- й теплоізоляція кабіни через польові умови роботи; - фільтрація повітря від пилу (важливо у періоди збирання врожаю); - додаткові джойстики та екрани для управління агросистемами.
Системи безпеки	- системи контролю смуги руху, екстреного гальмування, адаптивного круїз-контролю, контролю сну, алкогольні блокувальники та ін.	- блокування руху при неправильному положенні навісного обладнання; - контроль стабільності руху на схилах - автоматичне вимкнення двигуна при виході з кабіни.

Джерело: розроблено авторами.

Ергономіка робочого місця оператора ММ безпосередньо впливає й на показники надійності, оскільки комфорт та зручність роботи водія (оператора) впливають на його увагу та концентрацію, точність та тривалість керування, своєчасність виявлення поломок й несправностей та наступних сервісних дій.

Виявлено, що зменшення рівня втоми оператора забезпечується роботою у зручних умовах при розміщенні його у оптимізованому ергономічному кріслі, забезпеченні хорошої видимості за оптимального розташування органів управління. При цьому зменшується ймовірність появи помилок, які можуть спричинити некоректну роботу систем й механізмів ММ й передчасну появу їх несправностей й відмов.

Зручне розташування важелів, педалей та панелі керування, формує у оператора ММ більш швидку та правильну реакцію на ситуацію, що знижує ризик механічного та/або температурного перевантаження їх систем і механізмів й забезпечує більш точне і керування ними.

Оптимальна з ергономічної точки зору продумана кабіна машини, з якісною інформаційною панеллю, дає можливість оператору вчасно помітити попереджувальні сигнали про наявні несправності (наприклад, знижений рівень та підвищену температуру оливи та охолоджувальної рідини двигуна або трансмісії). Це запобігає появі несправностей та/або аварійних поломок й упереджує наступні невідворотні позапланові та вартісні сервісні й ремонтні дії.

Постійний вплив вібрацій й шуму під час експлуатації ММ формує негативні наслідки для здоров'я оператора та його здатність зосереджуватися, а неправильні дії через дискомфорт можуть призвести до перевантаження окремих систем і механізмів машини. Це стосується, передусім, двигуна, силової гідравліки, трансмісії, гальмівної системи тощо. В той час як зручне та безпечне розташування важливих систем (гальм, запобіжників, аварійних перемикачів тощо) навпаки, знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Визначено, що підвищення рівня комфортності робочого місця оператора ММ мінімізує ризик появи помилок, забезпечує кращий рівень контролю за станом машини й формує більш тривалий її експлуатаційний термін. Саме тому, продумана ергономіка система «оператор – мобільна машина» це не просто зручність, але й один із ключових факторів конструкційної та експлуатаційної надійності машин. При цьому забезпечується збільшений час безвідмовної роботи ММ, знижується інтенсивність та ймовірність появи відмов у критичний момент експлуатації ММ, мінімізуються витрати на технічне обслуговування та тривалість простоїв техніки під час проведення ремонтних дій.

Інтенсивний розвиток світової машинобудівної галузі, який відбувається останнім часом, вносить важливі зміни до конструкцій сучасних автомобілів, тракторів й комбайнів та ергономіки їх робочих місць, концептуально змінюючи взаємозв'язки в системі «оператор - мобільна машина» [18]. Сучасні ММ – це високотехнологічні машини, оснащені мехатронними системами, що забезпечують автоматизацію виконання технологічних процесів, знижують витрати палива, покращують та полегшують керування машинами, мінімізують дію людського фактору тощо. Наведено сукупність найбільш ефективних мехатронних систем, якими оснащені сучасні ММ:

1. Мехатронні системи керування рухом та навігації:

- GPS-навігація та автопілот – для автоматичного керування машиною за заданою траєкторією із підвищеним рівнем точності (до декількох сантиметрів);
- ISOBUS – є універсальним стандартом зв'язку між машиною й навісним обладнанням, що дозволяє керувати різними агрегатами через один дисплей;
- автоматичне рульове управління, що забезпечує рівномірні проходи без перекриттів й пропусків.

## 2. Мехатронні системи двигуна та трансмісії:

- електронне керування двигуном (ECU – Engine Control Unit), що забезпечує регулювання подачі палива, оптимізує роботу двигуна, знижує витрати пального тощо;
- варіаторні трансмісії (CVT – Continuously Variable Transmission), які забезпечують плавну зміну швидкості руху машини без ривків й втрат потужності.
- система інтелектуального управління повним приводом, що автоматично перемикає між 2WD й 4WD в залежності від умов та режимів роботи.

## 3. Мехатронні системи контролю роботи агрегатів:

- система автоматичного регулювання навісного обладнання, яка контролює глибину оранки, тиск на ґрунт, продуктивність плуга або сівалки;
- автоматичне регулювання висоти жатки в комбайнах, що формує рівномірний зріз, зменшуючи втрати врожаю;
- змінне внесення добрив й насіння (VRA – Variable Rate Application), що дозволяє точно дозувати добрива або насіння у відповідності до стану ґрунту;

## 4. Мехатронні системи моніторингу та діагностики:

- система телеметрії, яка передає дані про стан трактора або комбайна в режимі реального часу (витрата пального, навантаження, температура тощо);
- сенсори зносу деталей, що контролюють стан ключових вузлів й прогнозують необхідність технічного обслуговування;
- система запобігання поломкам (Predictive Maintenance), яка аналізує роботу техніки та попереджає про можливі несправності.

## 5. Мехатронні системи безпеки і комфорту:

- антипробуксовочна система (ASR – Anti-Slip Regulation), як обумовлює запобігання буксуванню коліс на ґрунті;
- камери 360°-огляду та датчики перешкод, що допомагають контролювати рух заднім ходом й працювати в обмеженому просторі, підвищуючи безпеку руху;
- системи автоматичного гальмування з датчиками наближення, що запобігає зіткненням;
- система контролю втоми оператора, що рекомендує перерву у його роботі;
- автоматична система клімат-контролю та шумоізоляції кабіни, що регулює рівень температури й шуму, підвищуючи комфорт оператора.

Беззаперечно, сучасні мехатронні системи суттєво змінюють ергономіку робочого місця оператора ММ, підвищуючи продуктивність, комфорт й точність роботи механізмів машин, але й безумовно здійснюють вплив на зміну їх експлуатаційної надійності. Причому, як показали результати проведених досліджень, цей вплив є неоднозначним (рис. 2 і рис. 3).

Високий рівень оснащення машин (автомобілів, тракторів, комбайнів) мехатронними системами покращує їх ергономіку, роблячи керування більш комфортним й менш енерговитратним для оператора. Одночасно, при коректній роботі та регулярному своєчасному обслуговуванні систем, це підвищує рівень їх експлуатаційної надійності.

Виявлено, що залежність від електроніки робить машину більш чутливою до складних умов експлуатації та підвищує витрати на її ремонт у разі появи відмов.

Проведені дослідження дають можливість зазначити, що мехатронні системи – це значний позитивний крок у розвитку мобільних машин, але їх ефективність залежить від ступеня конструктивної досконалості, рівня узгодженості елементів в системі оператор – мобільна машина, правильного й грамотного застосування, якісного й своєчасного проведення сервісних й ремонтних дій та інших факторів.



Рисунок 2 – Вплив рівня забезпеченості машини мехатронними системами на ергономіку робочого місця

Джерело: розроблено авторами.



Рисунок 3 – Вплив рівня забезпеченості машини мехатронними системами на рівень її експлуатаційної надійності

Джерело: розроблено авторами.

При великій кількості мехатронних систем ергономіка машини потребує проведення оптимізації її конструктивних та функціональних елементів. При цьому основними перспективними напрямками можна вважати використання:

- інтуїтивних інтерфейсів - сенсорних дисплеїв із логічним розташуванням функцій;
- голосових команд та швидкого доступу – для можливість голосового керування або програмованих гарячих клавіш;
- автоматичного налаштування робочого місця – персоналізованих профілів для різних операторів;
- зменшення надмірних сповіщень – впровадженням адаптивних систем, що повідомляють лише про критичні параметри;
- навчання операторів – проведення регулярних тренінгів і використання нових технологій.

Проведені в даній роботі дослідження свідчать, що малодослідженим залишається вплив рівня оснащення машин мехатронними системи на показники їх експлуатаційної надійності.

### Висновки

1. З'ясовано роль ергономіки при проектуванні і функціонуванні робочого місця оператора мобільних машин (автомобіля, трактора, комбайна). Виявлено вплив основних факторів на рівень ергономічності внутрішнього простору кабін мобільних машин: ступінь заповнення робочого простору, ступінь посадки та висадки, комфортність, тактильні відчуття і сенсорне сприйняття, зручність роботи із органами керування, оглядовість та зовнішня видимість.

2. Встановлено основні критерії диференціації та класифікації робочих місць операторів мобільних машин. Виявлені основні ергономічні параметри для системи «оператор – мобільна машина», дано їх характеристики та сформульовані вимоги до ергономічних параметрів. Виявлено вплив ергономічних параметрів на експлуатаційну надійність мобільних машин.

3. Показано як інтенсивний розвиток сучасної машинобудівної галузі вносить важливі зміни до конструкції автомобілів, тракторів, комбайнів та ергономіки їх робочих місць.

4. Обґрунтовано та наведено найбільш ефективні мехатронні системи сучасних мобільних машин. Дано їх функціональні характеристики.

5. Визначено позитивні і негативні впливи мехатронних систем на ергономіку робочого місця оператора мобільної машини.

6. Обґрунтовано вплив рівня забезпеченості мобільних машин мехатронними системами на рівень їх експлуатаційної надійності, зазначено як позитивні фактори, так і потенційні проблеми. Сформульовано основні перспективні напрямки використання мехатронних систем.

### Список літератури

1. Chowdhury, A., Kachare, C. (2021). Ergonomic evaluation of a car interior: a case example on shelby Cobra. In *Ergonomics for Improved Productivity: Proceedings of HWWWE 2017* (pp. 65-71). Springer Singapore.
2. Голуб Д.В., Аулін В.В. Математична модель підвищення якості управління мехатронною системою мікроклімату салону автомобіля. *Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький*, 2024. Вип. 9(2). С. 66-78.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. та ін. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. Кропивницький: видавництво ТОВ «КОД», 2017. 370с.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В. Обґрунтування механізму функціонування мехатронної системи склоочищення автомобіля. *Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 9(40), ч.ІІ 77 7(38). Ч.1. С. 167-176.*



5. Antonelli, R. A., Costa, L. C. C., Eustachio, A. M. N., et al. (2013). *Development of a methodology focused on the improvement of both: ergonomics and comfort of commercial vehicle seats* (No. 2013-36-0216). SAE Technical Paper.
6. Park, S. J., Kim, C. B., Kim, C. J., et al. (2000). Comfortable driving postures for Koreans. *International journal of industrial ergonomics*, 26(4), 489-497.
7. Okunribido, O. O., Shimbles, S. J., Magnusson, M., et al. (2007). City bus driving and low back pain: a study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Applied ergonomics*, 38(1), 29-38.
8. Gowtham, S., Ramnaath, M., Sudharsan, et al. (2020, August). Seating comfort analysis: a virtual ergonomics study of bus drivers in private transportation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 912, No. 2, p. 022018). IOP Publishing.
9. Cășeriu B., Blaga P. Considerations regarding the ergonomics of the vehicle interior, George Emil Palade University of Medicine, Pharmacy, Science, and Technology of Targu Mures. Targu Mures. 32–37.
10. G. M.Sammonds, M.F.Neilm, J .Mansfield, Effect of long term driving on driver discomfort and its relationship with seat fidgets and movements, 58, 119-127 (2017)
11. Sammonds, G. M., Fray, M., & Mansfield, N. J. (2017). Effect of long term driving on driver discomfort and its relationship with seat fidgets and movements (SFMs). *Applied ergonomics*, 58, 119-127..
12. Li, Q., & Wu, Y. (2023). Ergonomics Research of Domestic Vehicle Cab Central Control System Based on Entropy Method. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 147-161). Cham: Springer Nature Switzerland.
13. Аулін В. В., Магопєць М. С. Формування мікроклімату в салонах автотранспортних засобів підігрівачами різної конструкції. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 9 (2). С. 146-157
14. Робоче місце оператора. Agriculture New Holland : веб-сайт. URL: [agriculture.newholland.com/eu/uk-ua/equipment/за-типом/agricultural-tractors/t9/details/operator-environment](http://agriculture.newholland.com/eu/uk-ua/equipment/за-типом/agricultural-tractors/t9/details/operator-environment).
15. Методичні рекомендації щодо визначення робочих місць. *LigaZakon* : веб-сайт. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN10624>
16. Negoita, O. D., Chivu, O., Babis, C., Gligor, A. (2019). Researches on the ergonomic design of the workplace for the car driver profession. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 290, p. 12022). EDP Sciences.
17. Zenk, R., Franz, M., Bubb, H., Vink, P. (2012). Spine loading in automotive seating. *Applied ergonomics*, 43(2), С. 290-295.
18. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замурєнко А.С. Розробка математичної моделі мехатронного модуля системи рульового управління вантажних автомобілів. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем: матеріали конф. V Міжнар. наук.-практ. конф., 19-21 квіт. 2023 р., м. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 9-11.*

## References

1. Chowdhury, A., Kachare, C. (2021). Ergonomic evaluation of a car interior: a case example on shelby Cobra. In *Ergonomics for Improved Productivity: Proceedings of HWWE 2017* (pp. 65-71). Springer Singapore.
2. Holub, D. V., & Aulin, V. V. (2024). Matematychna model pidvyshchennia yakosti upravlinnia mekhatronnoiu systemoiu mikroklimatu salonu avtomobilia [Mathematical model for improving the quality of control of the mechatronic microclimate system of a car cabin]. *Central Ukrainian Scientific bulletin. Technical Sciences*, 9(2), 66–78 [in Ukrainian].
3. Aulin, V.V., Holub, D.V.& Hryn'kiv, A.V. et al. (2017). Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyshchennia nadijnosti funktsionuvannia avtomobil'nykh transportnykh system [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]. Kropyvnyts'kyj: Vydavnytstvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
4. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2023). Obgruntuvannia mekhanizmu funktsionuvannia mekhatronnoi systemy skloochyschennia avtomobilia [Justification of the mechanism of operation of the mechatronic system of car windshield cleaning]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, 7(38), 1, 167-176 [in Ukrainian].
5. Antonelli, R. A., Costa, L. C. C., Eustachio, A. M. N., et al. (2013). *Development of a methodology focused on the improvement of both: ergonomics and comfort of commercial vehicle seats* (No. 2013-36-0216). SAE Technical Paper.
6. Park, S. J., Kim, C. B., Kim, C. J., & Lee, J. W. (2000). Comfortable driving postures for Koreans. *International journal of industrial ergonomics*, 26(4), 489-497.
7. Okunribido, O. O., Shimbles, S. J., Magnusson, M., & Pope, M. (2007). City bus driving and low back pain: a study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Applied ergonomics*, 38(1), 29-38.

8. Gowtham, S., Ramnaath, M., Sudharsan, et al. (2020, August). Seating comfort analysis: a virtual ergonomics study of bus drivers in private transportation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 912, No. 2, p. 022018). IOP Publishing.
9. Cășeriu B., Błaga P. Considerations regarding the ergonomics of the vehicle interior, George Emil Palade University of Medicine, Pharmacy, Science, and Technology of Targu Mures. Targu Mures. 32–37.
10. G. M.Sammonds, M.F.Neilm, J .Mansfield, Effect of long term driving on driver discomfort and its relationship with seat fidgets and movements, 58, 119-127 (2017).
11. Sammonds, G. M., Fray, M., & Mansfield, N. J. (2017). Effect of long term driving on driver discomfort and its relationship with seat fidgets and movements (SFMs). *Applied ergonomics*, 58, 119-127.
12. Li, Q., & Wu, Y. (2023). Ergonomics Research of Domestic Vehicle Cab Central Control System Based on Entropy Method. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 147-161). Cham: Springer Nature Switzerland.
13. Aulin, V. V., Mahopets, M. S. (2024). Formuvannia mikroklimatu v salonakh avtotransportnykh zasobiv pidhrivachamy riznoi konstruksii [Formation of microclimate in car cabins with heaters of various designs]. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 9(2), 146–157 [in Ukrainian].
14. Roboche mistse operatora. *Agriculture New Holland*. Retrieved from [agriculture.newholland.com/eu/uk-ua/equipment/za-tipom/agricultural-tractors/t9/details/operator-environment](https://agriculture.newholland.com/eu/uk-ua/equipment/za-tipom/agricultural-tractors/t9/details/operator-environment)
15. Metodychni rekomendatsii shchodo vyznachennia robochykh mist. (n.d.). *LigaZakon*. Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/FIN10624>
16. Negoita, O. D., Chivu, O., Babis, C., Gligor, A. (2019). Researches on the ergonomic design of the workplace for the car driver profesion. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 290, p. 12022). EDP Sciences.
17. Zenk, R., Franz, M., Bubb, H., Vink, P. (2012). Spine loading in automotive seating. *Applied ergonomics*, 43(2), 290-295.
18. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Zamurenko, A.S. (2023). Rozrobka matematychnoi modeli mekhatronnoho modulia systemy rul'ovoho upravlinnia vantazhnykh avtomobiliv [Development of a mathematical model of the mechatronic module of the truck steering system]. Increasing the reliability and efficiency of machines, processes and systems: *V Mizhnar. nauk.-prakt. konf.(19-21 kvit. 2023 r.) - V International science and practice conf. (pp. 9-11)*. Kropyvnyts'kyj: TsNTU [in Ukrainian].

**Mykhailo Mahopets**, **Viktor Aulin**, Prof., DSc., **Andrii Hrynkiv**, senior researcher, PhD tech. sci.  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **The Influence of Ergonomics and Mechatronics Elements on the Functioning of the “Operator – Mobile Machine” System**

The article is devoted to the main aspects of ergonomics of workplaces of drivers of vehicles and operators of agricultural machinery. The importance of an ergonomic approach at the stage of design and operation of mobile machines is substantiated to ensure comfort, safety, efficiency of the operator's work and reliability of the "operator - mobile machine" system. The factors influencing the ergonomics of the operator's workspace are analyzed, their comparative characteristics are given taking into account the specifics of their operation. The ergonomic parameters of a truck, tractor and combine are analyzed.

Particular attention is paid to the influence of ergonomics on the operational reliability of mobile machines, as well as to reducing the likelihood of errors due to operator fatigue, since the comfort and convenience of the driver's (operator's) work affect his attention and concentration, accuracy and duration of control, timeliness of detection of breakdowns and malfunctions and subsequent service actions. It was found that reducing the level of operator fatigue is ensured by working in comfortable conditions when placing him in an optimized ergonomic chair, ensuring good visibility with the optimal location of the controls. Modern mechatronic control systems are described, which contribute to the automation of work processes and increasing the accuracy of machine control.

A high level of equipping machines (cars, tractors, combines) with mechatronic systems improves their ergonomics, making control more comfortable and less energy-consuming for the operator. At the same time, with correct operation and regular timely maintenance of the systems, this increases the level of their operational reliability. It was found that the presence of a large number of electronics makes the machine more sensitive to difficult operating conditions and increases the costs of its repair in the event of failures. It is concluded that ergonomics and mechatronics are key factors in ensuring the safety, efficiency and trouble-free operation of mobile machines.

**operator-mobile machine system, ergonomics, mechatronic systems, ergonomic indicators, efficiency, reliability**

*Одержано (Received) 14.03.2025*

*Прорецензовано (Reviewed) 19.03.2025*

*Прийнято до друку (Approved) 21.03.2025*