

УДК 638.158:159.9:62; 331.101.1

Є. Я. Прасолов, Т. Г. Лапенко, Р. С. Тратуга

Полтавська державна аграрна академія, Полтава

ЕРГОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ «ОПЕРАТОР–МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ–СЕРЕДОВИЩЕ»

Ергономічність робочих сидінь розглядається як основа працездатності в діяльності операторів машинно-тракторних агрегатів. При невідповідності робочого місця вимогам ергономіки, оператори швидко втомлюються, зменшується ефективність праці, розсіюється увага і виникає велика кількість помилок. Описаний аналіз ґрунтується на фізичні параметри оператора, антропометричні розміри кінцівок і пристосування робочого місця оператора до розмірів довжини кінцівок.

Ключові слова: ергономіка, ударні навантаження, оператор, машинно-тракторний агрегат, органи керування, біомеханіка.

Постановка проблеми

В системі функціонування сучасних машинно-тракторних агрегатів (МТА) центральне місце займає робоче місце оператора. Ергономічність робочого місця і його головного компонента – сидіння – є основною умовою ефективності праці. В конструкції сучасних робочих сидінь сконцентрований багаторічний досвід практичної експлуатації МТА і результати наукових досліджень в області біомеханіки, інженерної ергономіки і фізіології людини [1 – 7].

Сидіння оператора МТА повинно відповідати наступним умовам і забезпечувати: ергономічний комфорт для досягнення довготривалої працездатності і попередження ранньої втомлюваності, а також захист організму оператора від дії небезпечних факторів, викликаних нештатними ситуаціями [8 – 15].

Актуальність проблеми обумовлена завданням виконання правильних і корисних для здоров'я людини рухів і моделювання робочих поз в різних ситуаціях. Тільки правильна поза виключає втомлюваність м'язів і організму в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні високо травмонебезпечними є агропромислове виробництво, адже більшість робочих місць обладнані застарілим устаткуванням і не відповідає вимогам ергономіки й санітарним нормам і, як наслідок, 80% травм і аварій виникає при обслуговуванні техніки [10 – 15].

Нині почастишали нещасні випадки від стресів і перевтоми. Умови праці оператора МТА характеризують відомі фактори по показникам яких слід виконати дослідження по вдосконаленню робочого місця [1, 3, 9, 10].

На сучасному рівні виробництва людина – це одна із важливих ланок виробничого процесу, основними функціями якої залишаються контроль і управління. Напруження через концентрацію уваги, інтенсифікацію мислення, координацію фізичних

зусиль на органи керування – викликають втому, що стає причиною зниження якості праці.

Вайцех Ястембовський в роботі «План ергономіки, науки, заснований на істинах, взятих із природних наук» вперше використав термін «ергономіка». Вченим підраховано, що до 95% робочого часу використовується людиною в сидячому положенні, наносить організму шкоду і стомлює тіло більше ніж фізична праця [2, 3, 5].

Денис Щур в статті «Ергономіка робочих місць: вимога законодавства» наголошував, що робоче місце повинно відповідати безпеці праці і бути зручним. Том Альбін в статті «Робота не повинна бути шкідливою для здоров'я» висвітлює, що основний принцип ергономіки – це, коли робочий процес сприятливий для людини, а не примушує її пристосовуватись до нього [2, 3, 5].

Дослідження американських вчених показують, що правильно організоване робоче місце позитивно впливає на продуктивність праці, яка протягом дня підвищується на 15...25% при виконанні норм ергономіки. Комфорт оператора складається із ергономіки робочого місця і раціонального планування простору в цілому.

Крім того, ефективність трудової активності людини залежить від середовища (шум, пил, освітлення, вібрації тощо) параметри якого не повинні виходити за рамки обумовлені особливостями людського організму і визначені в анатомічних дослідженнях. З метою попередження розвитку професійних захворювань, які виникають під час тривалого перебування в нерухомому стані, слід створити оптимальні робочі умови для кращої розумової і фізичної діяльності оператора, тобто створити ергономічні робочі місця [1, 3, 5].

Френк В. Джилбрет розробив систему «Необхідності зменшення кількості рухів» і висловив таку думку: «в Світі не має більших витрат, ніж витрати від безкорисних, погано скоординованих і непродуктивних рухів» [7].

Рал'єр У. Берне розробив правила і сформулював закони економичності рухів, але більш раціональними є принципи, які він вдосконалив на основі «Правил людських рухів» Ф. В. Джилбрета [7]:

- праця повинна бути розподілена рівномірно між двома руками, так щоб починали і закінчували виконувати роботу одночасно;
- за виключенням періодів відпочинку, руки не повинні не діяти;
- в праці рух рук повинен бути симетричним, але в протилежних напрямках, що відповідає фізіологічним особливостям людини.

Ергономіка здійснює системний підхід до трудових процесів і оперує ергономічними показниками: гігієнічними, антропометричними, фізіологічними, психофізіологічними, естетичними. Ергономічна біомеханіка на основі антропометричних ознак (розмір тіла, кінцівок, голови, стопи, кута обертання в суглобах, кисті, досяжності рук) дає рекомендації по організації робочого місця, конструювання інструменту та оснащення. Ергономічна біомеханіка повинна стати об'єктивною необхідністю збереження рухливої діяльності м'язів без напруження і втоми. Але, нині поки що відсутні програми по ергономічній біомеханіці, які б слід впроваджувати в практичну діяльність.

Значні можливості ергономіки, доведені практикою дозволили визнаному в Світі американському ергономісту, Президенту Міжнародної асоціації ергономістів Х. Хендрику в статті, «Хороша ергономіка – це хороша економіка» у 1996 році зробити загальний висновок: «спеціалісти в галузі вивчення людського фактору (ергономіки) вже давно зрозуміли великі потенційні можливості цієї дисципліни для покращення здоров'я людей, безпеки, продуктивності праці, як людини, так і системи. В дійсності, фактично автор не знає такої професії, в якій невелика група спеціалістів мала б такі потенційні можливості для здійснення реальних змін».

Формулювання мети статті

Метою статті є дослідження ергономічного фактору при взаємодії операторів МТА в системі «оператор–машина–середовище».

Виклад основного матеріалу

Нині важливою проблемою є гармонізація взаємодії людини з МТА в системі «оператор–машина–середовище». Робота оператора МТА пов'язана з необхідністю знаходитись в кабіні, де на нього діють фактори, які обумовлені специфічними властивостями виконуваних технологічних операцій. Оператор часто помиляється, знижується і продуктивність при незадовільних умовах праці. Він витримує великі перевантаження, які викликані нераціональним положенням тіла, невдалою компоновкою робочого місця, незадовільною оглядовістю. Причиною нераціональної організації робочого місця є непристосованість органів керування і партерів робочого місця до фізіологічних особливостей оператора, зокрема до антропометричних.

Для зменшення ризику травмування оператора МТА необхідно забезпечити раціональну ергономічну позу. Підтримання такої пози – це забезпечення ергономічного комфорту і довготривалої працездатності оператора. Це можливо за умови, що слід опиратись на інформацію про анатомічну будову скелетно-м'язової системи людини. Для людини природним є біг, хода, стояння. Аналіз результатів досліджень в області біомеханіки показує, що поза «стояти» характеризується раціональним навантаженням хребта. Отже, S-подібна форма хребта положення центра маси голови і тіла в межах площі опори, відсутність паразитних моментів і реакцій є оптимальною позою, тобто система буде відрізнятись найбільш несучими можливостями і мінімальним непродуктивними затратами м'язової енергії.

При формуванні вимог до пози «сидіти» оптимальна початкова конфігурація може бути критерієм ергономічного робочого сидіння. Визначення раціонального взаємного розміщення частин тіла при сидінні оператора в кріслі: хребет повинен повторювати форму в положенні «стояти», голову слід розмішувати так, щоб вага проектувалася в зону близьку до центру поперечного перерізу грудної клітки на рівні маси торсу, та слід орієнтувати без розвороту, шийний відділ хребта повинен мати природню форму. Більшість існуючих крісел мають відхилення від ергономічних вимог: невідповідність форми спинки крісла формі хребта; відсутність опори поперекового лордозу; немає підтримки в районі шийного відділу хребта; та не має необхідної підтримки, виключаючи його розворот; підголівник розміщений не оптимально до потилиці. У більшості в поперечному перерізі спинка і сидіння простих крісел має прямокутну форму, що також знижує ергономічність.

Для підтримки природньої силової форми хребта необхідно забезпечити точне спів падіння форми контактних поверхонь крісла з формою хребта і тіла оператора (в повздовжньому і поперечному напрямках). Це забезпечить ергономічний комфорт і відповідну довготривалу працездатність та безпеку оператора.

Розглянемо характер навантажень, діючих на оператора в кріслі в штатних і аварійних ситуаціях в таких позах: «статичні» – навантаження статичними допустимими силами, але довготривалими; «динамічні» – навантаження швидкозмінними інерційними силами.

Навантаження зовнішніми силами хребта в робочому кріслі розглянемо на трьохмірній моделі тіла людини: голова, тулуб в межах грудної клітки і тазостегнова частина тіла.

Аналіз «статичної» раціональної пози показує, що сума сили моментів дорівнює нулю. Просторова стабільність трьохвимірної моделі забезпечується допустимими зусиллями в основній групі м'язів. Виходить, що в першому наближенні оптимізація

проходить за рахунок геометричних параметрів системи крісла.

Математичне моделювання «динамічної» пози проводиться на основі «статичної» пози навантаження з додатковим розкладанням зусиль в м'язах шийного і поперекового відділу хребта.

Попереднє визначення граничних реакцій виконується шляхом «замороженого» навантаження ударними перевантаженнями – значення інерційних сил приймається рівними максимальним показникам. Для ергономічної оптимізації компоновки і захисних властивостей крісельної системи використовується моделювання на основі динамічної моделі.

Напружено-деформований стан міжм'язових ділянок трьохвимірної моделі людини в кріслі моделюється з використанням в'язко-пружної системи у вигляді сукупності паралельно з'єднаних пружини і демпфера з лінійними характеристиками.

В першому наближенні одноеlementна лінійна в'язко-пружна одновимірна механічна система описується рівнянням:

$$F = c_1 x + k_1 \dot{x}, \quad (1)$$

яке для напруги і відносної деформації має вигляд:

$$\sigma = E_1 \varepsilon + \eta_1 \dot{\varepsilon}, \quad (2)$$

а після перетворень, приймає вигляд:

$$\sigma = q_0 \varepsilon + q_1 \dot{\varepsilon}. \quad (3)$$

Модуль Юнга E_1 і коефіцієнт в'язкості середовища η_1 визначаються з врахуванням геометричних розділів коефіцієнтів жорсткості і демпфірування в'язко-пружного компонента.

В загальному випадку інтегрована крісельна система у випадку окремих компонентів повинна мати в'язко-пружні властивості і результати моделювання дозволять визначити діапазони можливих значень відповідних параметрів для цілей ергономічної оптимізації проектних параметрів за умовами сприйняття людиною ударних навантажень.

Дослідження по визначенню ергономічного фактору проводились на мобільній колісній машині – фронтальному навантажувачі. Оператор використовує ручні та ножні органи керування – педалі, гальма, важелі подачі палива в двигун, керування якими проводиться з урахуванням візуального фактора.

Зусилля, створене ногою значно більше в порівнянні з рукою, що пояснюється тим, що керування і зусилля на педаль визначається конструктивним рішенням і способом руху ноги. Оператор МТА працює сидячи, тоді і антропометричні розміри тіла повинні враховуватись при розміщенні органів керування для ніг. При нормальній посадці оператора з комфортними умовами праці ноги слід розміщувати в оптимальній зоні для керування.

На процес оптимального тиснення ногою на педаль впливають розміщення точки сидіння, вісі установки педалі, антропометричні розміри ноги оператора.

Керування ножними органами слід розглядати, як коливальний рух в тазостегновому суглобі з деяким кутом, тоді і педаль також виконує коливальний рух. Випадок, коли під час виконання операцій стегно оператора розміщується під кутом до вертикальної вісі.

Запишемо відоме геометричне рівняння:

$$L = l_c + l_z \times \sin(\beta - 90) + A, \quad (4)$$

де L – віддаль від точки підвіски педалі до стінки сидіння;

l_c і l_z – відповідно довжина стегна і голені;

A – проекція важеля;

β – кут між стегном і голенню.

В даному випадку $A = \text{const}$ і визначається технічними показниками МТА.

Тоді, віддаль від точки установки кріплення важеля до стінки сидіння визначається за формулою, з врахуванням рівняння (4):

$$L = l_c + l_z \times \sin \beta + A. \quad (5)$$

Отримані антропометричні параметри довжини стегон і голені та A проекції важеля, що є незмінною величиною представимо в табл. 1.

З врахуванням фізіології людини, педалі слід встановлювати із забезпеченням кута в гомілковостоповому суглобі в межах $90 \dots 100^\circ$, а в колінному – $110 \dots 120^\circ$.

При максимально допустимому куті в колінному суглобі 120° віддаль установки сидіння від органів керування – в межах 833,2 до 1047,3 мм.

При максимально допустимому куті в колінному суглобі 1150 віддаль установки сидіння від органів керування знаходиться в межах від 749,2 до 1007,4 мм. При максимально допустимому куті в колінному суглобі 1100 віддаль установки сидіння від органів керування знаходиться в межах від 761,3 до 965,4 мм. Отримані показники аналітичних залежностей місця установки педалі в залежності від антропометричних показників ніг оператора МТА дозволяють розмістити педалі в кабіні оператора в оптимальних зонах.

Таблиця 1. Антропометричні розміри ніг операторів МТА

Зріст оператора МТА	Довжина стегна, мм	Довжина голені, мм	Розрахункова віддаль до важеля, мм при куті в колінному суглобі		
			1200	1100	1150
Високий	520	520	1047,3	1007,1	965,1
Середній	460	480	947,3	878,4	865,3
Низький	360	450	832,3	749,2	761,2

Визначені віддалі в кабіні фронтального навантажувача від подушки сидіння до вісі установки педалі змінюється від 667 до 848 мм в залежності від регулювання сидіння. Вимірний діапазон відповідає антропометричним показникам операторів низького зросту.

При відомих значеннях віддалі до місця установки педалі і антропометричних розмірах голені і стегна можна визначати кут згину колінного суглобу. Аналітична залежність коефіцієнта відповідності кута робочого положення ноги оператора, що рекомендується фізіологічними параметрами, має вигляд:

$$K_y = \frac{\beta}{\beta_n}, \quad (6)$$

де β_n і β – відповідно нормований та кут в коліні оператора під час виконання робочих операцій.

При значеннях $1 > K_y > 0$ віддалі до педалі не відповідає нормальному положенню ноги під час виконання робочих операцій оператором.

У фронтальному навантажувачі використовуються напільні важелі регулювання подачі палива, оптимальний кут його встановлення визначається з урахуванням фізіологічних вимог. Тоді, отримаємо:

$$\alpha = \left(90 + \arccos \frac{h}{l_c} \right) - \gamma, \quad (7)$$

де α – кут у гомілковостопному суглобі;

h – висота від підлоги кабіні до подушки сидіння;

β – кут в колінному суглобі;

γ – кут встановлення підлогової педалі, має конструктивне значення.

Для операторів МТА середнього зросту кут складає від 89,50 до 116,3°, значення яких не виходять за нормовані межі.

Оператори низького і високого зросту працюють, в основному в незручних позах, так як кути в колінному суглобі виходять за нормативні межі. Параметри робочого місця МТА повинні регулюватися так, щоб оператори могли адаптуватися в залежності від зросту оператора (низького, середнього і високого) з врахуванням розмірів верхніх та нижніх кінцівок. Положення установки важеля визначається під час підстановки антропометричних параметрів конкретного оператора в відповідності нормовані значення кутів з таких міркувань, то і робочий хід важеля не виходив за межі оптимальної межі. Обернена задача вирішується з використанням значень віддалей до встановлення педалі, антропометричних розмірів голені і стегна і встановлюється кут згину колінного стегна. Описаний аналіз по суті спирається на фізичні параметри оператора, антропометричні розміри кінцівок і пристосування робочого місця оператора до розмірів довжини кінцівок.

Висновки

Відповідно до мети проведені дослідження:

- визначені параметри умов праці в кабіні оператора МТА і шляхом порівняння встановлена відповідність нормативним;

- обґрунтовано, що педалі слід розміщувати в оптимальній зоні із забезпеченням кута в гомілковостопному суглобі в межах 90...100°, а в колінному – 110...120°;

- встановлено, що при куті в колінному суглобі: 120° віддалі установки сидіння від органів керування знаходиться в межах 833,2 до 1047,3 мм; 115° – в межах 749,2 до 1007,4 мм; 110° – в межах 761,3 до 965,4 мм;

- визначені віддалі в кабіні фронтального навантажувача від подушки сидіння до вісі установки педалі змінюється від 667 до 848 мм в залежності від регулювання сидіння. Вимірний діапазон відповідає антропометричним показникам операторів низького зросту. Описаний аналіз спирається на фізичні параметри оператора, антропометричні розміри кінцівок і пристосування робочого місця до розмірів кінцівок.

Ергономічність робочих крісел розглядається як основа комфортних умов праці оператора. Дослідження показують, що подальший розвиток і покращення захисних крісел систем повинні йти по напрямкам: формування раціональної пози; оптимізації навантаження, точне формоутворення. Оптимальний ефект можливий у випадку, коли реалізуються всі вищевказані напрямки одночасно.

Література

1. Овчинников Ю. Д. Биомеханика двигательной деятельности : учебное пособие [Текст] / Ю. Д. Овчинников. – Краснодар : КГУФКСГ, 2014. – 265 с.
2. Мунипов В. М., Зинченко, В. П. Эргономика: человека ориентированное проектирование техники, программных средств и среды: учебник [Текст] / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. – М. : Логос, 2001. – 356 с.
3. Организация рабочего места [Электронный ресурс] // сайт «Vinirina Prof – всё для успешного бизнеса». – 2013.
4. Зинченко В. П. Эргономические основы организации труда [Текст] / В. П. Зинченко, В. М. Мунипов, Г. Л. Смолян. – М. : Логос, 2001. – 246 с.
5. Герцберг Ф. Мотивация к работе [Текст] / Ф. Герцберг, Б. Моснер. – М. : Вершинина, 2007. – 240 с.
6. Прогнозирование травматизма а АПК и путей его профилактики: учебное пособие [Текст] / В. С. Шкрабак, В. В. Шкрабак, Р. В. Шкрабак [и др]. – СПб., 2002 с.
7. Терещенко В. И. Курс для высшего управленческого персонала : монография [Текст] / В. И. Терещенко. – М., 1970. – 807 с.
8. Северов М. М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве [Текст] / М. М. Северов. – М. : Колос, 1992. – 190 с.

9. Юрков М. М. Оценка уровня условий труда оператора машинно-тракторного агрегата [Текст] / М. М. Юрков. – Ярославль : ЯГСХА, 2003. – 190 с.
10. Коптева Н. А. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний сельскохозяйственных рабочих на основе нечеткой логики принятия решений / Н. А. Коптева, Н. А. Корневский, Р. А. Крупчатников // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т.4. – №7. – С. 86 – 89.
11. Гусак-Катрич Ю.А. Охрана труда в сельском хозяйстве / Ю.А.Гусак-Катрич. – М.: Альфа-Пресс, – 2007. – 176с.
12. Черкасов А. Ю. Методика оценки ножных органов управления по конструктивным параметрам / А. Ю.Черкасов, И. В. Гальянов // Научные труды ВМИИОТ, М. – 2004. – С. 53 – 59.
13. Черкасов А. Ю. Анализ травматизма машинистов автогрейдеров / А. Ю. Черкасов, И. В. Гальянов // Вестник охраны труда, М. – 2004.–№3. С. 7 – 11.
14. Прасолов Є. Я. Підготовка інженерів до умов виникнення техногенних ризиків / Є. Я. Прасолов, С. А. Браженко / Восточно-европейский журнал передовых технологий, №3/11(63), Харьков. – 2013, С. 34 – 37.

15. Прасолов Є. Я. Зниження травмонебезпек мобільних агрегатів внесення добрив технічними засобами захисту / Є. Я. Прасолов, Т. Г. Лапенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць №70 (№43) серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків.: ХПІ. – 2013. – С. 144 – 149.

Рецензент: д-р сільгосп. наук, проф. П. В. Писаренко, Полтавська державна аграрна академія, Полтава

Автор: ПРАСОЛОВ Євген Якович

Полтавська державна аграрна академія, Полтава, кандидат технічних наук, доцент.

E-mail – belovol_sa@mail.ru

Автор: ЛАПЕНКО Тарас Григорович

Полтавська державна аграрна академія, Полтава, кандидат технічних наук, доцент.

E-mail – kafedra_bgd@ukr.net

Автор: ТАРАТУТА Роман Сергійович

Полтавська державна аграрна академія, Полтава, студент.

E-mail – malysh18051994@mail.ru

ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ОПЕРАТОР–МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ–СРЕДА»

Е. Я. Прасолов, Т. Г. Лапенко, Р. С. Таратута

Эргономичность рабочих сидений рассматривается как основа работоспособности в деятельности операторов машинно-тракторных агрегатов. При несоответствии рабочего места требованиям эргономики, операторы быстро устают, уменьшается эффективность работы, рассеивается внимание и возникает большое количество ошибок. Описанный анализ опирается на физические параметры оператора, антропометрические размеры конечностей и приспособление рабочего места оператора к размерам длины конечностей.

Ключевые слова: эргономика, ударные нагрузки, оператор, машинно-тракторный агрегат, органы управления, биомеханика.

ERGONOMIC JUSTIFICATION INTERACTIONS IN THE SYSTEM «OPERATOR-TRACTOR UNITS ENVIRONMENT»

Ie. Ya. Prasolov, T. G. Lapenko, R. S. Taratuta

Ergonomic work seating regarded as the basis of efficiency in the work of the operators of tractor units. At discrepancy workplace ergonomics, operators quickly get tired, decreased work efficiency, attention is scattered and there is a large number of errors. The described analysis is based on the physical parameters of the operator, anthropometric dimensions of the limbs and the adaptation to the operator's workplace size length of the limbs.

Keywords: ergonomics, shock loads, the operator, tractor units, controls, biomechanics.