

## Супровід Технічного регламенту безпеки при модернізації та експлуатуванні тракторів за ергономічними показниками

Розглянуто методику супроводу Технічного регламенту безпеки тракторів при модернізації та експлуатуванні за комплексним коефіцієнтом ергономічності.

**Ключові слова:** трактор, ергономічні показники, Технічний регламент.

**Вступ.** Технічний рівень тракторів визначається не лише досконалістю їх технічних показників, але й рівнем забезпечення умов праці і безпеки оператора, що впливає на його здоров'я. Ці показники повинні розглядатися як соціальне завдання, вирішення якого дозволить збільшити продуктивність праці, знизити рівень загальної і професійно обумовленої захворюваності та підвищити престижність професії.

**Мета роботи** – обґрунтувати методику супроводу Технічного регламенту безпеки трактора за ергономічними показниками, що характеризують ступінь зручності та ефективність виконання операторських функцій.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Технічний регламент безпеки машин, затверджений ухвалою Кабінету Міністрів України 30 січня 2013 за №62, визначає вимоги до машин, спрямовані на захист життя і здоров'я людини. Проблема ергономічної оцінки якості різних об'єктів, зокрема тракторів, – одне з ключових питань комплексної системи підвищення якості промислової продукції і технологічних процесів [1, 2]. При цьому як єдине ціле розглядається система «людина – машина», за якою оцінюється ступінь відповідності ергономічних вимог до машини основним характеристикам людини [3, 4]. Забезпечення цієї відповідності при модернізації й експлуатуванні тракторів дозволяє підвищити їх економічну ефективність. Наприклад, урахування ергономічних вимог при створенні тракторів серії МТЗ-100/102 (наявність комфортної кабіни, зниження рівня шуму, розташування органів керування і засобів відображення інформації з урахуванням психофізичних особливостей оператора) дозволив підвищити порівняно з тракторами серії МТЗ-80/82 продуктивність праці в сільськогосподарському виробництві на 17-30%.

**Виклад основного матеріалу.** Ергономічні показники тракторів регламентуються нормативними документами. До показників, що регламентуються, належать: рівень звуку на робочому місці оператора, концентрація пилу в кабіні, параметри вібрації у вертикальному і горизонтальному напрямках на сидінні оператора і органах керування, мікроклімат в кабіні (температура, вологість, швидкість руху повітря в зоні

дихання оператора, перепад температур в кабіні), освітленість ділянок поля і дороги, внутрішні розміри кабіни, розташування органів керування, розміри і розташування сидіння, сили опору переміщенню органів керування, засоби відображення інформації, оглядовість з робочого місця оператора тощо.

Для супроводу Технічного регламенту безпеки тракторів використано комплексний принцип оцінювання технічних систем, що полягає у визначенні рівня якості за одним інтегральним показником [5]. Інтегральне оцінювання ергономічних показників тракторів з урахуванням впливу (вагомості) кожного окремого показника дає можливість судити про якість трактора в аспекті відповідності його нормативним документам, антропометричним, психофізіологічним та іншим даним оператора.

Комплексний (інтегральний) показник ергономічності трактора  $K_e$  визначають сукупністю зведених до одиничної домірності відносних безрозмірних кількісних значень  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_i$  одиничних ергономічних показників. Враховуючи ваговитість  $a_i$  показників  $K_i$ , комплексний показник ергономічності трактора оцінюють із залежності

$$K_e = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot K_i). \quad (1)$$

Для набуття відносних значень  $K_i$  окрім  $a_i$  необхідно враховувати їх базові значення ( $b_i$ ), що відповідають комфортним умовам роботи операторів; рівні «вето» ( $c_i$ ), що визначають умови, коли система «людина – машина» стає небезпечною для керування, а також використовувати фактичні рівні ергономічних показників ( $d_i$ ) оцінюваного трактора.

Якщо трактор характеризується кількома ергономічними показниками, то відносно значення ергономічного показника визначають відношення кількості показників, що не відповідають нормативним характеристикам ( $d_{in}$ ), до кількості таких, що відповідають нормативним характеристикам ( $b_{in}$ ):

$$K_i = 1 - \frac{d_{in}}{b_{in}}. \quad (2)$$

За показниками, що не мають метрологічної основи (робоча поза, умови виконання технічного забезпечення), оцінювання ергономічних показників виконують за шкалою [5] (табл. 1).

Таблиця 1  
Шкала оцінювання ергономічних показників, що не мають метрологічної основи

Категорія	1	2	3	4
$K_i$	1,0	0,78	0,40	0,0

За фактичних значень одиничних показників, що дорівнюють базовим, ( $d_i = b_i$ ), значення одиничного показника береться за норму і  $K_i = 1$ . Для виключення можливості нівелювання відносних значень ергономічних показників приймають, що за будь-якого значення  $d_i$  значення  $K_i$  буде не більшим  $a_i$ . В даному випадку при  $\sum_{i=1}^n a_i = 1$  на тракторі з рівнем ергономічних показників, що відповідає нормативним вимогам, маємо  $K_e = 1$ .

При  $\sum_{i=1}^n a_i = 0$ , що відповідає значенням ергономічних показників рівня «вето», маємо  $K_e = 0$ . За часткового виконання ергономічних нормативів трактора маємо  $0 < K_e < 1$ . Якщо при оцінюванні ергономічності трактора один або декілька показників знаходяться на рівні «вето» або перевищують його, то оцінювання  $K_e$  недоцільне.

Комплекс факторів, що діють на трактор, режим роботи вузлів і систем трактора, підвищення робочих швидкостей і зростання числа машин, що агрегуються, підвищує напруженість праці оператора. У цих умовах особливе місце у розв'язанні проблеми забезпечення вимог до умов праці і техніки безпеки займає кабіна трактора з розміщенням поста керування оператора. Оцінюючи ергономічні параметри поста керування, за нормативними документами виконують аналіз коефіцієнтів ваговитості  $a_i$ , базових значень  $b_i$  і рівня «вето»  $c_i$  ергономічних показників  $K_e$ . Для прикладу з урахуванням експериментальних матеріалів виконано аналіз  $K_e$  тракторів колісного ХТЗ-17221 і гусеничного ХТЗ-181, прийнятих за базові (табл. 2).

Таблиця 2  
Основні коефіцієнти ваговитості і ергономічності поста керування базових тракторів ХТЗ-17221 і ХТЗ-181 (напрацювання – 100 мотогодин)

Показник	ХТЗ-17221			$K_e$	
	$a_1$	$b_1$	$c_1$	ХТЗ-17221	ХТЗ-181
Температура на робочому місці, $t^{\circ}\text{C}$	0,18	28	31	0,120	0,180
Шум, дБА	0,16	83	80	0,072	0,095
Вібрація, дБ	0,15	114	117	0,160	0,150
Робоча поза (за шкалою)	0,10	1	4	0,040	0,040
Зручність ТЕ (за шкалою)	0,11	1	4	0,090	0,085
Сила переміщення органів керування, Н	0,09	7	25	0,055	0,071
Конструкція сидіння	0,09	30	45	0,078	0,075
Зміст вуглекислого газу, $\text{мг}/\text{м}^3$	0,04	7,3	20	0,040	0,040
Запиленість, $\text{мг}/\text{м}^3$	0,04	10	50	0,040	0,040
Конструкція органів керування	0,04	16	25	0,035	0,032
			Разом	0,730	0,808

Аналіз таблиці показує, що кабіна гусеничного трактора ХТЗ-181 має кращі ергономічні показники ніж кабіна колісного трактора ХТЗ-17221: в ній знижена температура і ліпша шумоізоляція. Одночасно необхідно відзначити, що найменше значення має коефіцієнт ергономічності базових тракторів ХТЗ-17221 і ХТЗ-181 за конструкцією органів керування, робочого простору для оператора, вмістом вуглекислого газу і запиленістю в кабіні. Такий висновок визначив напрям модернізації тракторів серії ХТЗ-170 і ХТЗ-180 за ергономічними показниками.

У Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого з тим, щоб оцінити ергономічну ефективність модернізованих тракторів колісного ХТЗ-17224 з дизелем ЯМЗ-236НК і гусеничного ХТЗ-200 з безступінчастим гідрооб'ємним механізмом повороту, були проведені їх порівняльні випробування з базовими тракторами ХТЗ-17221 з дизелем ЯМЗ-236Д-3 і трактором ХТЗ-181 з різницево-швидкісним механізмом повороту.

Санітарно-гігієнічні умови в кабіні тракторів ХТЗ-17221 і ХТЗ-17224 оцінені відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. *Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны* за вмістом окислу вуглецю в повітрі робочої зони оператора, концентрацією пилу в зоні дихання оператора і рівнем шуму під час виконання тракторами орних робіт (плуг ПРУН-5-45) і глибокого розпушування (борона БГР-4,2 «Солоха»). Відмічено, що за даними показниками трактори ХТЗ-17221 і ХТЗ-17224 відповідають вимогам нормативної документації, маючи коефіцієнти ергономічності при напрацюванні 100 мотогодин відповідно:  $K_e = 0,730$  і  $K_e = 0,865$ . Підвищення значення  $K_e$  трактора ХТЗ-17224 ( $\approx 18,8\%$ ) порівняно з трактором ХТЗ-17221 пояснюється в основному установленим на ньому дизеля ЯМЗ-236НК номінальною потужністю 139,7 кВт (190 к.с.) з проміжним охолодженням надувального повітря, що має сертифікацію ЕІРО-1 щодо екології викидів випускних газів. Таке підвищення  $K_e$  досягнуто в основному за рахунок зниження окислу вуглецю в кабіні трактора ХТЗ-17224 до  $4,2 \text{ мг}/\text{м}^3$  (у трактора ХТЗ-17221 –  $7,3 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) за нормативних вимог  $20,0 \text{ мг}/\text{м}^3$ , а також завдяки зниженню вібрації на  $\approx 9,3\%$  і шуму на  $\approx 12\%$ , що пояснюється, в основному, стійкою роботою на енергоємних роботах дизеля ЯМЗ-236НК на тракторі ХТЗ-17224 порівняно з дизелем ЯМЗ-236Д-3 на тракторі ХТЗ-17221.

З підвищенням напрацювання тракторів ХТЗ-17224 і ХТЗ-17221 до 1500 мотогодин вміст окислу вуглецю в повітрі робочої зони оператора підвищився у трактора ХТЗ-17224 до  $8,6 \text{ мг}/\text{м}^3$ , у трактора ХТЗ-17221 – до  $11,6 \text{ мг}/\text{м}^3$ ; рівень шуму підвищився у трактора ХТЗ-17224 з 7,5 до 58,3 дБА, у трактора ХТЗ-17221 – з 8,3 до 68,0 дБА (за вимоги 80,0 дБА). Внаслідок цього коефіцієнт ергономічності трактора ХТЗ-17221 знизився до  $K_e = 0,723$ , трактора ХТЗ-17224 – до  $K_e = 0,859$ .

Таким чином, за комплексним показником ергономічності трактора надається можливість оцінити динаміку зниження його ергономічних якостей з підвищенням напрацювання. При напрацюванні тракторів ХТЗ-17221 і ХТЗ-17224

1500 мотогодин відмічено інтенсивніше підвищення механічного шуму в кабіні, основним джерелом якого є двигун і агрегати трансмісії. Цей шум істотно залежить від швидкісного і навантажувального режимів роботи двигуна, а також порушення регулювань агрегатів і систем двигуна, а також трансмісії.

Аналіз ергономічних показників поста керування базового гусеничного трактора ХТЗ-181 (див. табл. 2) показав, що найбільшою мірою на зниження коефіцієнта ергономічності цього трактора впливає конструкція органів керування, зокрема механізму перемикачів передач. При коефіцієнті ергономічності трактора  $K_e = 0,808$  на конструкцію органів керування припадає частка:  $K_e = 0,032$ , тобто  $\approx 4,0\%$ . Цим перш за все пояснюється підвищена стомлюваність оператора на перемикачній передачі під час підворотів трактора для забезпечення стійкого руху на гоні. На тракторах ХТЗ-181 встановлені різницево-швидкісні механізми повороту, що забезпечують їх поворот при різних передатних відношеннях по бортах. При агрегуванні трактора ХТЗ-181 з плугом ПРУН-5-45 (оранка стерні озимої пшениці за вологості ґрунту 18-20%, твердості ґрунту 120,0-130,0 Н/см<sup>2</sup>) експериментально визначено кількість підворотів  $n = 60$  [6] на довжині гону 1000 м.

Застосування на гусеничних тракторах безступінчастих гідрооб'ємних механізмів повороту є ефективним не лише за експлуатаційно-технологічними показниками [6], але й за всіма показниками змін функціонального стану організму оператора [7]. Це пояснюється, перш за все, можливістю плавного повернення трактора на задану траєкторію руху на гоні, що не приводить до підвищеної стомлюваності оператора.

Порівняння санітарно-гігієнічних умов у кабіні гусеничних тракторів було виконане згідно з ГОСТ 12.1.005-88 на моделях тракторів ХТЗ-181 і ХТЗ-200 з механізмами повороту відповідно різницево-швидкісним і гідрооб'ємним. На цих тракторах встановлені дизелі ЯМЗ-238 КМ2-3 (номінальна потужність 139,7 кВт (190 к.с.)), вони мають торсіонно-балансирну індивідуальну підвіску, що забезпечує плавний хід тракторів. При агрегуванні трактора ХТЗ-200 з плугом ПРУН-5-45 на оранці стерні озимої пшениці в однакових умовах з агрегатом ХТЗ-181+ПРУН-5-45 основні ергономічні показники поста керування трактора ХТЗ-200 ідентичні показникам трактора ХТЗ-181 (див. табл. 2), окрім показника, що стосується конструкції органів керування. Цей показник при напрацюванні трактора ХТЗ-200 на орних роботах 100 мотогодин дорівнює  $K_e = 0,067$  (у трактора ХТЗ-181 –  $K_e = 0,032$ ), внаслідок чого коефіцієнт ергономічності трактора ХТЗ-200 підвищується до  $K_e = 0,875$ .

З підвищенням напрацювання тракторів ХТЗ-181 і ХТЗ-200 до 1500 мотогодин відмічено зниження на  $\approx 5-7\%$  показників ергономічності за вмістом окислу вуглецю в повітрі робочої зони оператора, рівнем шуму і вібрацій порівняно з напрацюванням 100 мотогодин (див. табл. 2). За такого напрацювання коефіцієнт ергономічності трактора ХТЗ-181 знизився до  $K_e = 0,768$ , трактора ХТЗ-200 – до  $K_e = 0,843$ .

При випробуваннях тракторів ХТЗ-181 і ХТЗ-200 на орних роботах були відмічені окремі несправності, що підвищують фізіологічну напруженість оператора.

Зокрема, у трактора ХТЗ-181 запізнене вмикання передач по бортах призводить до підвищеного ризику на гоні; у трактора ХТЗ-200 [89] – підвищений шум, перегрів гідрооб'ємного механізму повороту знижує його тягово-енергетичні якості. Причиною цих несправностей є здебільшого порушення регулювань гідроагрегатів і важелів керування, знижений рівень робочої рідини в гідробаці і т.ін. Це свідчить про необхідність своєчасного технічного обслуговування механізмів керування тракторами.

Для оцінки ергономічних показників механізмів керування тракторів на їх експлуатаційні властивості були приведені порівняльні випробування тракторів ХТЗ-181 і ХТЗ-200 на оранці при агрегуванні з плугом ПРУН-5-45 (фон – стерня озимої пшениці, вологість ґрунту – 18-20%, твердість ґрунту – 120,0-130,0 Н/см<sup>2</sup>). Оцінка ефективності застосування на гусеничному тракторі ХТЗ-200 гідрооб'ємного механізму повороту порівняно з серійним механізмом повороту на тракторі ХТЗ-181 була виконана на типових полях довжиною гону  $L = 1000$  м і шириною загону  $C = 80$  м з проведенням трьох контрольних змін по 8,2 годин роботи в кожному зміні.

Результати експериментальних досліджень [6]:

- шлях, що проходить з підворотами на довжині гону 1000 м агрегат ХТЗ-200+ПРУН-5-45, дорівнює  $L = 1144$  м при середній швидкості руху  $v = 7,69$  км/год, агрегат ХТЗ-181+ПРУН-5-45 – відповідно  $L = 1260$  м,  $v = 7,23$  км/год;

- коефіцієнт використання часу руху з урахуванням витрат часу на повороти і заїзди (час холостого ходу) становить для агрегатів ХТЗ-200+ПРУН-5-45 –  $\tau_{дв} = 0,935$  і ХТЗ-181+ПРУН-5-45 –  $\tau_{дв} = 0,925$ ;

- продуктивність ( $W_T$ ) і витрата палива ( $G_T$ ) агрегатів: ХТЗ-200+ПРУН-5-45 –  $W_T = 1,572$  га/год,  $G_T = 18,05$  кг/га і ХТЗ-181+ПРУН-5-45 –  $W_T = 1,488$  га/год,  $G_T = 19,53$  кг/га.

Таким чином, підвищення ергономічних показників трактора ХТЗ-200 порівняно з трактором ХТЗ-181 на  $\approx 7,5\%$  за рахунок модернізації механізму повороту при їх однакових тягово-енергетичних параметрах дозволило отримати на орних роботах підвищення продуктивності на  $\approx 5,7\%$ , зниження витрати палива на  $\approx 7,6\%$ . Це пояснюється підвищеними середніми швидкостями руху на гоні і на повороті в кінці гону трактора ХТЗ-200 при агрегуванні з плугом за рахунок безступінчастого механізму повороту.

Супровід Технічного регламенту безпеки під час експлуатації тракторів базується на безрозбірному діагностуванні ергономічних показників з необхідною точністю. При цьому оцінюють: шум на робочому місці оператора, концентрацію пилу в кабіні, параметри вібрації на сидінні оператора і органах керування, мікроклімат в кабіні трактора та ін. Цю роботу виконують в кілька етапів:

- оцінювання ергономічних показників за зовнішніми показниками (колір відпрацьованих газів дизеля, рівень зовнішнього шуму, вібрація на сидінні оператора і органах керування тощо);
- інструментальний контроль ергономічних показників з допустимою точністю;
- підготовка висновку відповідності ергономічних показників нормативним матеріалам;

– видача рекомендацій щодо необхідності виконання технічного діагностування окремих агрегатів і систем трактора, ергономічні показники яких знаходяться на рівні «вето».

Виконання цієї роботи спрямоване на розв'язання проблеми екологічної безпеки тракторів [9], до якої відносять властивості трактора не перевищувати нормативні рівні всіх видів шкідливих дій (під час роботи, обслуговування, ремонту і зберігання) на обслуговуючий персонал, населення, рослинний і тваринний світ, що забезпечується конструкційними і технологічними факторами, а також операціями технічного обслуговування і ремонту в період від виготовлення до списання трактора.

**Висновки.** Супровід Технічного регламенту безпеки тракторів ефективний за комплексним коефіцієнтом ергономічності, що дає змогу обґрунтувати напрям їх модернізації та оцінити відповідність ергономічних показників агрегатів і систем їх нормативному рівню.

Слід вважати виправданим застосування на тракторах серії ХТЗ-170 (трактор ХТЗ-17224) дизелів ЯМЗ-236НК і серії ХТЗ-180 (трактор ХТЗ-200) гідрооб'ємного механізму повороту, для яких коефіцієнт ергономічності відповідно дорівнює  $K_e = 0,865$  і  $K_e = 0,875$ . З підвищенням напрацювання тракторів від 100 до 1500 мотогодин цей коефіцієнт знижується на 5-7%.

### Список літератури

1. Ергономика: Принципы и рекомендации [Текст]. – М.: ВНИИТЭ, 1981. – 275 с.
2. Розенталь О.М. Стандарты и качество оценки соответствия [Текст] / О.М. Розенталь, С.А. Хохлявин. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2009. – 280 с.
3. Коба В.Г. Проблемы развития и экономической оценки эргатических систем [Текст] / В.Г. Коба. – К.: Вища школа, 1985. – 320 с.

4. Павлов В.В. Системы «человек – машина». Проблемы и синтез [Текст] / В.В. Павлов. – К.: Вища школа, 1987. – 56 с.

5. Рябцев Б.И. Безопасность и эргономичность сельскохозяйственной техники [Текст] / Б.И. Рябцев, А.Н. Сасовский, Э.Д. Циблин; под ред. Ю.И. Кундиева, Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1988. – 120 с.

6. Лебедев С.А. Эксплуатационно-технологичні показники гусеничних тракторів на орних роботах [Текст] / С.А. Лебедев // Механізація сільського господарства: Вісник ХНТУСГ. – Х.: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 59, т. 2. – С. 268-273.

7. Старожук И.А. Влияние типа механизма поворота трактора на напряженность труда тракториста [Текст] / И.А. Старожук, Г.С. Цейтлина, В.С. Сафонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – №2. – С. 12-14.

8. Лебедев С.А. Стабильность функционирования гидрообъемного механизма поворота гусеничного трактора [Текст] / С.А. Лебедев // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАА, 2005. – Вип. 27. – С. 43-52.

9. Колчин А.В. Экологическая диагностика тракторов и самоходных машин [Текст] / А.В. Колчин // Тракторы и сельхозмашины. – 2005. – № 3. – С. 5-7.

**Аннотация.** Представлена методика сопровождения Технического регламента безопасности тракторов при модернизации и эксплуатации по комплексному коэффициенту эргономичности.

**Summary.** The method of accompaniment of Technical regulation of safety of tractors is presented during modernization and exploitation on the complex coefficient of ergonomic.

Стаття надійшла до редакції 14 серпня 2013 р.