

РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ КАБІН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

Постельга С., <https://orcid.org/0000-0003-1563-3137>, e-mail:korm_lab@ukr.net
ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета досліджень – визначення показників деформування кабіни з використанням стандартизованих методів та розроблених технічних засобів.

Методи досліджень. Випробування проводили згідно з методами, наведеними в [ДСТУ ISO 5700, 2019] з використанням навантажувального стенда, датчиків тиску та переміщення, цифрового вимірювального підсилювача Spider 8 та ноутбука Panasonic CF-19 Touchbook, модель: CF-19KHR88PE.

Результати досліджень. На випробування була надана захисна конструкція АИ.209.45.011.00 кабіни тракторів типу С25 «Слобожанець».

Перед проведенням випробувань виміряли і зафіксували розміри захисної конструкції кабіни. Під час першого поздовжнього навантаження спереду праворуч навантагу прикладали до верхнього поперечного елемента захисної конструкції. Точка прикладання навантаги знаходилась на відстані 260 мм від зовнішнього кута краю захисної конструкції. Було забезпечене з використанням ущільнювального елемента рівномірне розподілення навантаги в напрямку перпендикулярному до напрямку дії і впродовж навантажувального бруса. Було досягнуто значення поглиненої захисною конструкцією енергії 13100 Дж (необхідна енергія - 12586 Дж) за максимального прикладеного зусилля 82 кН і переміщення 340 мм. Під час першого і другого випробування стисканням конструкцію навантажували вертикально з силою 180 кН вздовж переднього і заднього верхніх поперечних елементів захисної конструкції з витримкою вказаної сили протягом 5 с. Навантагу збоку прикладали горизонтально до верхнього правого поздовжнього елемента захисної конструкції на відстані 85 мм вперед від контрольної точки крісла водія. Довжина навантажувального бруса становила 600 мм. Було досягнуто значення поглиненої захисною конструкцією енергії 17000 Дж (необхідна енергія - 15732 Дж) за максимального прикладеного зусилля 80 кН і переміщення 290 мм. Після проведення всіх етапів випробувань найбільшого переміщення зазнала передня крайня точка захисної конструкції назад – 70 мм, передня ліва точка – 35 мм. Змістились також задні крайні точки у напрямку назад на 45 мм – права і 30 мм – ліва. У боковому напрямку вперед перемістилась на 15 мм передня права крайня точка. Після проведених випробувань зона вільного простору не була порушена.

Висновки. Застосовані під час випробувань методи і технічні засоби дають змогу з необхідною точністю і достовірністю визначити величину прикладених зусиль та деформації.

Під час випробувань на стискання досягнуті значення випробувальної сили (180 кН), а під час прикладання горизонтальних навантажень – поглиненої захисною конструкцією енергії (13100 Дж – поздовжнє навантаження і 17000 Дж – бокове навантаження).

Найбільшої остаточної деформації зазнала захисна конструкція в передній крайній точці – 70 мм, за таких умов порушення зони вільного простору водія елементами захисної конструкції не відмічено.

Отже захисна конструкція АИ.209.45.011.00 кабіни тракторів типу С25 «Слобожанець» витримала статичні випробування на відповідність ДСТУ ISO 5700.

Ключові слова: захисна конструкція, статичне навантаження, випробувальна сила, переміщення, поглинена енергія, деформація.

Вступ. Захисна конструкція кабіни від перевертання ROPS (rollover protective structure) - важливий пристрій безпеки, який використовується для того, щоб тракторист у випадку аварії трактора не отримав травм та не піддавався смертельній небезпеці. Тому конструктори повинні забезпечити зону вільного простору оператору [ДСТУ ISO 5700, 2019] під час перевертання трактора або [ДСТУ EN ISO 3164, 2017] для землерийних машин.

Під час проектування міцність конструкції захисної конструкції кабіни перевіряють з використанням 2D або 3D моделювання методом кінцевих елементів [Trojanovskaya I. P. та ін., 2018, Sakthivel M. та ін., 2021, Dylan J. Agius та ін., 2015, Hyo-Sung Jang та ін., 2015, Khorsandi F. та ін., 2017, Khorsandi F. та ін., 2018].

В Європейському Союзі стосовно введення в обіг сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів, причепів та змінних причіпних машин з 1 січня 2016 року запроваджено новий регламент ЄС [Regulation (EU) № 167, 2013] щодо затвердження типу і нагляду за ринком сільськогосподарських та лісогосподарських транспортних засобів і п'ять делегованих регламентів Комісії ЄС, якими замінено Директиву 2003/37/ЄС та окремі Директиви ЄС, які встановлюють вимоги до складових частин, вузлів та характеристик тракторів, причепів, причіпних машин. Стосовно вимог захисних конструкцій кабіни, вони встановлені Делегованим регламентом Комісії ЄС [Regulations Commission Delegated Regulation (EU) No 1322, 2014].

В Україні згідно з [Технічним Регламентом затвердження типу, 2011] для затвердження типу тракторів необхідною умовою є затвердження типу захисної конструкції кабіни, яке вимагає проведення статичних випробувань ROPS.

Детальні технічні вимоги та процедури випробувань, які стосуються статичних випробувань захисних конструкцій кабіни тракторів, встановлені [ДСТУ ISO 5700, 2019]. Перелік і послідовність проведення тестів згідно з цим документом такі:

- а) перше поздовжнє навантажування;
- б) перше випробування стисканням;
- в) навантажування збоку;
- г) друге випробування стисканням;
- д) друге поздовжнє навантажування.

Для практичного визначення перерахованих показників використовують навантажувальний стенд, який створює горизонтальні та вертикальні статичні навантаження на захисну конструкцію кабіни, постійно реєструє значення зусилля та переміщення під час горизонтально прикладених навантажень та фіксує прикладене зусилля під час вертикальних навантажень.

Постановка завдань. В УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого за науковою темою [Провайдинг продукції сільськогосподарського машинобудування, 2019] було розроблено та виготовлено відповідно до вимог [ДСТУ ISO 5700, 2019] стенд для статичних випробувань захисних конструкцій кабіни (ROPS).

Мотивація досліджень полягає в отриманні нових даних.

Мета досліджень — визначення показників деформування кабіни з використанням стандартизованих методів та розроблених технічних засобів.

Завдання досліджень:

- встановити технічні характеристики стенда, виходячи з його конструкційних особливостей;

- вимірювати одночасно зусилля, прикладене до захисної конструкції та її переміщення з записом даних на ноутбук, отриманих від датчиків через цифровий вимірювальний підсилювач під час горизонтальних навантажень;

- виміряти прикладену силу до захисної конструкції з записом даних на ноутбук, отриманих від датчика тиску через цифровий вимірювальний підсилювач під час стискань.

- за отриманими даними зусилля та переміщення побудувати графіки поглиненої енергії деформації.

Методи і матеріали. Випробування проводили згідно з методами, наведеними в [ДСТУ ISO 5700, 2019].

Стенд для статичних випробувань захисної конструкції кабіни (ROPS) виготовлено відповідно до вимог розділу 5 [ДСТУ ISO 5700, 2019].

До складу стенда входять:

- 1) пристрій для горизонтального навантаження захисної конструкції кабіни;
- 2) пристрій для вертикального навантаження захисної конструкції кабіни;
- 3) гідравлічна станція;
- 4) гідравлічні шланги з трійниками для під'єднання датчиків тиску та роздільником потоку;
- 5) датчики тиску;
- 6) датчик переміщення;
- 7) манометри для контролю тиску в гідравлічних магістралях;
- 8) рама, яку прикріплюють жорстко до опорної поверхні з використанням болтових з'єднань, і до якої жорстко з використанням заводських кріплень і опор (амортизаторів) приєднують раму трактора із захисною конструкцією кабіни;
- 9) цифровий вимірювальний підсилювач Spider 8;
- 10) ноутбук Panasonic CF-19 Touchbook, модель: CF-19KHR88PE.

Результати. Пристрій для горизонтального навантаження захисної конструкції кабіни складається з таких частин: силової підлоги; бічних опор з верхньою перемичкою; балки силової; кронштейна гідроциліндра; гідроциліндра ГЦ 160.70.950; бруса навантажувального; гідростанції; гідравлічних шлангів із запірною арматурою.

Пристрій для вертикального навантаження захисної конструкції кабіни складається з таких частин: силової підлоги; двох гідроциліндрів, балки силової; гідростанції; гідравлічних шлангів з трійниками для під'єднання датчиків тиску та розділювачем потоку.

Для вимірювання значень навантаги та деформації використовували датчики тиску типу ИПД-2 та індуктивний датчик переміщення типу ДСД-520. Для безперервної реєстрації значень навантаги та деформації застосовували цифровий підсилювач «Spider-8» 10; ноут-

бук Panasonic CF-19 Touchbook, модель: CF-19KHR88PE 11 з програмним забезпеченням.

Гідростанція складається з таких частин: бака для мастила; двигуна електричного; муфти кулачкової з поліуретановою зірочкою; насоса шестеренчастого (НШ-10); гідророзподільника; манометра; дроселя механічного високого тиску; фільтра для мастила; шафи електричної; панелі пуску та зупинки гідростанції.

Гідростанція, виходячи з технічної характеристики насоса НШ-10, може створити максимальний робочий тиск 250 кгс/см² або зусилля на навантажувальному горизонтальному брусі завдяки параметрам гідроциліндра 500 кН.

Швидкість переміщення навантажувального бруса для забезпечення умови статичного навантаження (не більше 5 мм/с) встановили з використанням дроселя механічного високого тиску і його значення становило 3,5 мм/с.

Цифровий вимірювальний підсилювач Spider 8 фіксує значення зусилля і переміщення в потоці з частотою 5 значень за секунду.

На випробування була надана захисна конструкція АИ.209.45.011.00 кабіни тракторів типу С25 «Слобожанець».

Перед проведенням випробувань виміряли і зафіксували розміри захисної конструкції відповідно до додатка С [ДСТУ ISO 5700, 2019].

Перед кожним горизонтальним навантаженням захисну конструкцію кабіни закріплювали до силової підлоги стенда так, щоб напрямок прикладання зусилля був перпендикулярним до елемента захисної конструкції, до якого прикладали це зусилля.

Перше поздовжнє навантаження (рис. 1) прикладали спереду праворуч, тому що сидіння водія, а відповідно і зона вільного простору знаходяться праворуч від поздовжньої осі симетрії кабіни на 294 мм, а навантаження на передню вісь становить 64 %.

Навантагу прикладали до верхнього поперечного елемента захисної конструкції.



Рисунок 1 – Поздовжнє навантаження спереду справа

Точка прикладання навантаги знаходилась на відстані 260 мм від зовнішнього кута краю захисної конструкції.

Довжина навантажувального бруса 572 мм.

Було забезпечене рівномірне (з означеним кроком 50 мм) розподілення навантаги в напрямку перпендикулярному до напрямку дії і впродовж бруса.

Оскільки форма захисної конструкції у місці навантажування не давала можливості повного прилягання навантажувального бруса, було виготовлено і використано ущільнювальний елемент для забезпечення рівномірного розподілення навантаги по всій довжині контакту.

Розрахункова поглинена захисною конструкцією енергія, яку потрібно досягти під час тесту, виходячи з маси трактора, була вирахована за формулою:

$$E_{п11} = 1,4 m_t = 1,4 \times 8990 = 12586 \text{ Дж};$$

Криву «зусилля – переміщення» під час першого поздовжнього навантажування наведено на рисунку 2.

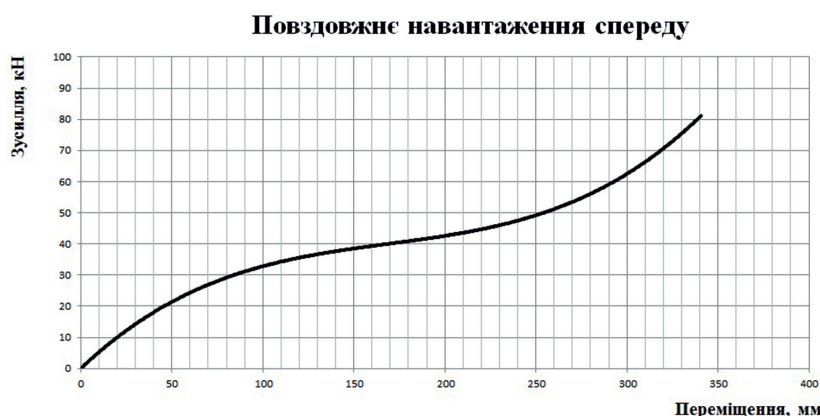


Рисунок 2 – Крива «зусилля – переміщення» під час першого поздовжнього навантажування

Навантагу під час першого випробування стисканням (рис. 3) прикладали вздовж переднього верхнього поперечного елемента захисної конструкції (до якого прикладали перше поздовжнє зусилля).

Навантагу прикладали брусом довжиною більшою за довжину елемента захисної конструкції, до якого прикладаємо зусилля.



Рисунок 3 – Перше випробування стисканням

Розрахункова випробувальна сила:

$$F_r = 20 m_t = 20 \times 8990 = 179800 \text{ Н.}$$

Зусилля визначали з використанням датчика тиску типу ИПД-2, з'єднаного з цифровим підсилювачем «Spider-8» 10; ноутбуком Panasonic CF-19 Touchbook, модель: CF-19KHR88PE 11 з програмним забезпеченням.

Силу прикладали не менше 5 с після припинення деформування захисної конструкції, яку можна помітити оглядово.

Навантагу збоку прикладали горизонтально до верхнього правого поздовжнього елемента захисної конструкції на відстані 85 мм вперед від контрольної точки крісла водія.

Довжина навантажувального бруса 600 мм.

Розрахункова поглинена захисною конструкцією енергія, яку потрібно досягти під час тесту:

$$E_{il1} = 1,75 m_t = 1,75 \times 8990 = 15732,5 \text{ Дж.}$$

Криву «зусилля – переміщення» під час навантажування збоку наведено на рисунку 4.

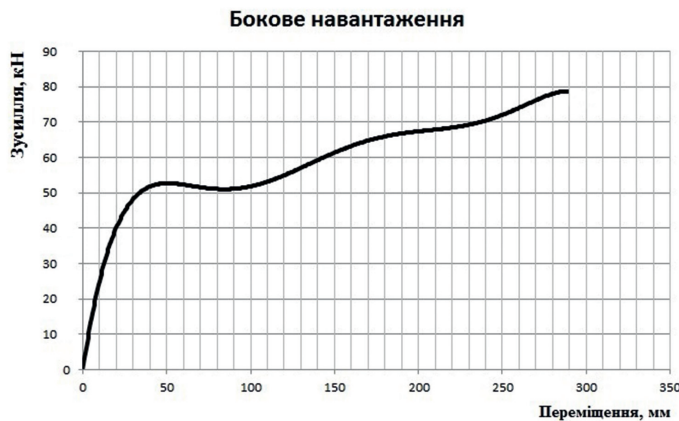


Рисунок 4 – Крива «зусилля – переміщення» під час навантажування збоку

Навантагу під час другого випробування стисканням прикладали вздовж верхнього поперечного елемента захисної конструкції, розташованого позаду сидіння водія. Силу прикладали вертикально вниз.

Розрахункова випробувальна сила:

$$F_r = 20 m_t = 20 \times 8990 = 179800 \text{ Н.}$$

Силу прикладали не менше 5 с після припинення деформування захисної конструкції, яку можна помітити оглядово.

Усі випробування проводили на одній захисній конструкції. Між етапами випробувань ремонтувати чи змінювати будь-який елемент не можна.

Поглинена енергія деформування отримана під час горизонтального навантажування становила:

- спереду – 13100 Дж (потрібна надана енергія – 12586 Дж);

- збоку – 17000 Дж (потрібна надана енергія – 15732 Дж).

Стискальна сила:

- спереду – 180 кН (розрахункова випробувальна сила – 179,8 кН);

- ззаду – 180 кН (розрахункова випро-

бувальна сила – 179,8 кН)

Після проведення випробувань виміряли остаточно деформацію крайніх точок захисної конструкції. Найбільшого переміщення зазнала передня права точка захисної конструкції назад – 70 мм, передня ліва точка – 35 мм. Змістились також задні крайні точки у напрямку назад на 45 мм – права і 30 мм – ліва. У боковому напрямку вперед перемістилась на 15 мм передня права крайня точка. Після проведених випробувань зона вільного простору не була порушена [Протокол № 01-16Тр-2021].

Обговорення. У країнах ЄС, США, Росії випробувальні лабораторії проводять випробування ROPS на відповідність різним нормативним документам [OECD Standards Codes for Official Testing agricultural and forestry tractors, 2015, SAE J2194, 1989, ISO 3164, 2013, ISO 5700, 2013]. Методологія проведення випробувань в цих документах аналогічна, відрізняється послідовність проведення тестів та визначення значень випробувальної сили та необхідної поглиненої захисною конструкцією деформації. Згідно з [ISO 3164, 2013] на відміну від [ISO 5700, 2013,] поглинена енергія фіксується тільки під час бокового горизонтального навантаження.

Випробування захисної конструкції двостійкової конструкції ROPS бульдозера Б10 Челябінського тракторного заводу проводили в Уральському випробувальному центрі НАПІ. Випробування проводили відповідно до вимог [ГОСТ Р ИСО 3471, 2009]. Здійснювали навантаження в такій послідовності: бокове, вертикальне, поздовжнє. Деформацію конструкції вимірювали безпосередньо по ходу гідроциліндра вимірювальною лінійною шкалою. тиск визначали манометрами в обох порожнинах гідроциліндра. Швидкість прикладання навантаження становила 4 мм/с, що давало змогу вважати навантаження статичним. Навантаження захисної конструкції проводили поетапно з кроком шкали деформації 10 мм. Бокове навантаження тривало до тих пір, поки

значення сили і енергії не досягли регламентованої [ГОСТ Р ИСО 3471, 2009] межі. Під час вертикальних і поздовжнього навантажень була досягнута необхідна сила, під дією якої витримали захисну конструкцію протягом 5 с. Пластичні деформації захисної конструкції, отримані під час випробувань, не порушили зону DLV [Trojanovskaya I. та ін., 2018].

Міністерством охорони здоров'я та соціальних служб США проведено порівняння польових динамічних та лабораторних статичних випробувань. Попереднє моделювальне дослідження показало, що статичне тестування може заздалегідь передбачити деформацію, спричинену ROPS під перекидання трактора на полі. Результати підтвердили прогноз модельного дослідження. Біля найнижчих ділянок ROPS пластична деформація, яка виникла в результаті випробувань поздовжнього навантаження ззаду, перевищила пластичну деформацію від статичних випробувань для 18 із 24 точок даних. І навпаки, пластична деформація ROPS від випробування збоку, як правило, була меншою, ніж пластична деформація від лабораторних статичних випробувань [Harris J. та ін., 2010].

Порівняння динамічних та статичних випробувань захисних конструкцій вузькоколієних тракторів виконали в Болонському університеті. Динамічні випробування були проведені на тракторі в комплекті з колесами та прикріплені до землі, так що енергія удару поглиналася переважно ROPS та шинами. В іншому випадку статичні випробування проводили на ROPS, встановленому на шасі трактора без шин; осі трактора були закріплені на землі, і вся енергія поглиналася ROPS. Результати випробувань показують, що деформація, отримана під час процедури динамічного випробування більша ніж під час статичного випробування [Franceschetti B. та ін., 2014].

AGCO Massey Ferguson використовує системи Dewesoft DAQ для гомологізації кабін трактора під час випробування конструкцій захисту від перекидання. Силова

механічна частина стенду подібна до описаної в розділі «Результати». DEWE-43A – це універсальна 8-канальна система збору даних USB з 8 універсальними аналогови-ми входами, 8 цифровими /лічильниковими /кодерними входами та двома входами на швидкісній шині CAN, а також працює з використанням програмного забезпечення Dewesoft X для збору, запису та аналізу даних. Процедура випробування відповідає стандарту Кодексу 4 OECD. Простою у використанні конфігурації математичних формул в програмному забезпеченні Dewesoft X вдалося безпосередньо реалізувати різні критерії тестування, які вимагаються в офіційному стандарті. Всього під час тесту в реальному часі розраховуються 72 математичні функції [Ferlie J., 2020].

Висновки. Застосовані під час випробувань методи і технічні засоби дають змогу з необхідною точністю і достовірністю визначити величину прикладених зусиль та деформації відповідно до ДСТУ ISO 5700.

Під час випробувань на стискання досягнуті значення випробувальної сили (180 кН), а під час прикладання горизонтальних навантажень – поглиненої захисною конструкцією енергії (13100 Дж – поздовжнє навантаження і 17000 Дж – бокове навантаження).

Найбільшої остаточної деформації зазнала захисна конструкція в передній правій точці – 70 мм.

Після проведення всіх етапів випробувань не встановлено порушення зони вільного простору водія елементами захисної конструкції.

Отже захисна конструкція АИ.209.45.011.00 кабіни тракторів типу С25 «Слобожанець» витримала статичні випробування на відповідність ДСТУ ISO 5700.

Перелік літератури

ГОСТ Р ИСО 3471-2009. Национальный Стандарт Российской Федерации.

Машины землеройные Устройства защиты при опрокидывании. Технические требования и лабораторные испытания

ДСТУ ISO 5700:2019 Сільськогосподарські та лісгосподарські трактори. Убезпечувальні конструкції в разі перекидання. Метод статичного випробування та умови прийняття (ISO 5700:2013, IDT).

Провайдинг продукції сільськогосподарського машинобудування, формування імпортозаміщення. – Звіт про НДР. – УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2019 р. – 162 с.

Про затвердження Технічного регламенту затвердження типу сільськогосподарських та лісгосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів. Постанова кабінету міністрів України від 28 грудня 2011 р. № 1367. Київ

Протокол № 01-16Тр-2021 випробувань захисної конструкції АИ.209.45.011.00 кабіни тракторів типу С25 «Слобожанець» на відповідність вимогам ДСТУ ISO 5700. – Дослідницьке, 2021. – 11 с.

Agius D., Kourousis K. I., Takla M., Subic A. (2016). Enhanced Nonlinear Material Modelling for the Analysis and Qualification of Rollover Protective Structures. September 2016. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D. Journal of Automobile Engineering 230(11):1558-1568. DOI:10.1177/0954407015618851

Ferlie J. (2020). ROPS Testing - Structural Safety Test on Tractor Cabin. 04. Nov 2020.

Franceschetti B., Rondelli V., Guarn A., Capacci E. Dynamic and static rops tests on modern tractors. July 2014. Conference: International Conference of Agricultural Engineering - AgEng 2014. ZurichAt: Zurich.

Harris J. R., McKenzie E. A., Etherton J. R. (2010). Cantis D M. ROPS Performance during field upset and static testing. January 2010. Journal of Agricultural Safety and Health 16(1):5-18. DOI:10.13031/2013.29245.

Hyо-Sung Jang, Boo-Youn Lee. (2015). Optimal Design of Tractor Cabin Frame Using Design of Experiment of Taguchi. November

2015. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 16(11):7377-7384 DOI:10.5762/KAIS.2015.16.11.7377.

ISO 3164:2013. Earth-moving machinery – Laboratory evaluations of protective structures – Specifications for deflection-limiting volume.

ISO 5700:2013. Tractors for agriculture and forestry – Roll-over protective structures – Static test method and acceptance conditions.

Khorsandi F., Ayers P. D., Trusterb T. J. (2017). Development and evaluation of a finite element model for predicting the non-linear behavior of a two-column protection structure using the SAE J2194 static test. Biosyst Eng. 2017 Apr; 156: 96–107. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.01.010

Khorsandia F., Wangb X., Araujoc G. (2018). ROPS designs to protect operators during agricultural tractor rollovers Journal of Terramechanics Volume 75, February 2018, Pages 49-55

OECD Standards Codes for Official Testing agricultural and forestry tractors, 2015. Code 4 Testing the strength of protective structures for agricultural and forestry tractors (static test).

Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council of 5 February 2013 on the approval and market surveillance of agricultural and forestry vehicles. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/> — Назва з екрана.

Regulations Commission Delegated Regulation (EU) No 1322/2014 of 19 September 2014 supplementing and amending Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council with regard to vehicle construction and general requirements for the approval of agricultural and forestry vehicles. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://eurlex.europa.eu/> — Назва з екрана.

SAE J2194 standard for Agricultural Tractor Rollover Protective Structures (ROPS).

Sakthivel M., Dhandapani N., Vetriselvan V., Arunachalam J. (2021). Design and analysis of tractor roll over protective

structure for the influence of deformation, stress distribution and strain energy. *Journal of Physics: Conference Series* 1717 (2021) 012029 IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1717/1/012029

Troyanovskaya I. P., Serov S. I., Kromskij E. I., Kozminych D. V. (2018). Estimating safety of a tractor cab with the protective system ROPS. Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 450, Issue 3 Citation I P Troyanovskaya et al 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 450 032021

Troyanovskaya I., Kalugin A. (2018). Certification tests of a protective device such as ROPS to ensure safe usage of tractors. *MATEC Web of Conferences* 224, 02061 (2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402061>.

References

About the statement of the Technical regulation of the statement of type of agricultural and forestry tractors, their trailers and replaceable trailer cars, systems, components and separate technical knots. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 28, 2011 № 1367. Kyiv

Agius D., Kourousis K. I., Takla M., Subic A. (2016). Enhanced Nonlinear Material Modelling for the Analysis and Qualification of Rollover Protective Structures. September 2016. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D. *Journal of Automobile Engineering* 230(11):1558-1568. DOI:10.1177/0954407015618851.

GOST R ISO 3471-2009. National Standard of the Russian Federation. Earthmoving machines Devices of protection at overturning. Technical requirements and laboratory tests

DSTU ISO 5700: 2019 Agricultural and forestry tractors. Safety structures in case of overturning. Static test method and acceptance conditions (ISO 5700: 2013, IDT).

Ferlie J. (2020). ROPS Testing - Structural Safety Test on Tractor Cabin. 04. Nov 2020.

Franceschetti B., Rondelli V., Guarn A., Capacci E. Dynamic and static rops tests on modern tractors. July 2014. Conference: International Conference of Agricultural Engineering - AgEng 2014. ZurichAt: Zurich.

Harris J. R., McKenzie E. A., Etherton J. R. (2010). Cantis D M. ROPS Performance during field upset and static testing. January 2010. *Journal of Agricultural Safety and Health* 16(1):5-18. DOI:10.13031/2013.29245.

Hyo-Sung Jang, Boo-Youn Lee. (2015). Optimal Design of Tractor Cabin Frame Using Design of Experiment of Taguchi. November 2015. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* 16(11):7377-7384 DOI:10.5762/KAIS.2015.16.11.7377.

ISO 3164:2013. Earth-moving machinery — Laboratory evaluations of protective structures — Specifications for deflection-limiting volume.

ISO 5700:2013. Tractors for agriculture and forestry — Roll-over protective structures — Static test method and acceptance conditions.

Khorsandi F., Ayers P. D., Trusterb T. J. (2017). Development and evaluation of a finite element model for predicting the nonlinear behavior of a two-column protection structure using the SAE J2194 static test. *Biosyst Eng.* 2017 Apr; 156: 96–107. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.01.010

Khorsandia F., Wangb X., Araujoc G. (2018). ROPS designs to protect operators during agricultural tractor rollovers *Journal of Terramechanics* Volume 75, February 2018, Pages 49-55

OECD Standards Codes for Official Testing agricultural and forestry tractors, 2015. Code 4 Testing the strength of protective structures for agricultural and forestry tractors (static test).

Provision of agricultural engineering products, formation of import substitution. - GDR report. - L. Pogorilyy UkrNDIPVT - 2019 - 162 p.

Protocol № 01-16Tr-2021 tests of the protective structure AI.209.45.011.00 of the cab of tractors type C25 «Slobozhanets» for compliance with the requirements of DSTU ISO 5700. - Doslidnytske, 2021. - 11 p.

Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council of 5 February 2013 on the approval and market surveillance of agricultural and forestry vehicles. [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/> — Назва з екрана.

Regulations Commission Delegated Regulation (EU) No 1322/2014 of 19 September 2014 supplementing and amending Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council with regard to vehicle construction and general requirements for the approval of agricultural and forestry vehicles. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://eurlex.europa.eu/> — Назва з екрана.

SAE J2194 standard for Agricultural Tractor Rollover Protective Structures (ROPS).

Sakthivel M., Dhandapani N., Vetriselvan V., Arunachalam J. (2021). Design

and analysis of tractor roll over protective structure for the influence of deformation, stress distribution and strain energy. Journal of Physics: Conference Series 1717 (2021) 012029 IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1717/1/012029

Troyanovskaya I. P., Serov S. I., Kromskij E. I., Kozminych D. V. (2018). Estimating safety of a tractor cab with the protective system ROPS. Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 450, Issue 3 Citation I P Troyanovskaya et al 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 450 032021

Troyanovskaya I., Kalugin A. (2018). Certification tests of a protective device such as ROPS to ensure safe usage of tractors. MATEC Web of Conferences 224, 02061 (2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402061>.

UDC 62-784.5

RESULTS OF STATIC TESTS OF PROTECTIVE STRUCTURES OF AGRICULTURAL TRACTORS CABINS

Postelga S.

<https://orsid.org/> / 0000-0003-1563-3137 (095)-205-57-84, e-mail: korm_lab@ukr.net

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of research is determination of cabin deformation indicators using standardized methods and developed technical means.

Research methods. The tests were performed according to the methods described in [DSTU ISO 5700, 2019] using a loading bench, pressure and displacement sensors, digital measuring amplifier Spider 8 and laptop Panasonic CF-19 Touchbook, model: CF-19KHR88PE.

Research results. The protective structure AI.209.45.011.00 of the cab of tractors type C25 «Slobozhanets» was provided for testing. Before the tests, the dimensions of the cab structure were measured and recorded. During the first longitudinal loading from front to right, the load was applied to the upper transverse element of the protective structure. The point of application of the load was at a distance of 260 mm from the outer corner of the edge of the protective structure. An even load distribution in the direction perpendicular to the direction of action and along the loading beam was ensured using a sealing element. The value of the energy absorbed by the protective structure was 13100 J (required energy - 12586 J) with a maximum applied force of 82 kN and a displacement of 340 mm. During the first and second compression tests, the structure was loaded vertically with a force of 180 kN along the front and rear upper transverse elements of the protective structure with a holding of the

specified force for 5 s. The side load was applied horizontally to the upper right longitudinal element of the protective structure at a distance of 85 mm forward from the control point of the driver's seat. The length of the loading beam was 600 mm. The value of the energy absorbed by the protective structure of 17000 J (required energy - 15732 J) at a maximum applied force of 80 kN and a displacement of 290 mm was achieved. After all test stages, the frontmost point of the protective structure was 70 mm and the front left point was 35 mm. The rear end points were also shifted backwards by 45 mm - right and 30 mm - left. In the lateral direction, the front right extreme point moved forward by 15 mm. After the tests, the free space area was not violated.

Conclusions. The methods and technical means used during the tests allow determine the magnitude of the applied forces and deformation with the necessary accuracy and reliability. During the compression tests, the values of the test force (180 kN) were achieved, and during the application of horizontal loads - the energy absorbed by the protective structure (13100 J - longitudinal load and 17000 J - lateral load). The greatest final deformation was suffered by the protective structure at the front extreme point - 70 mm, while the violation of the zone of free space of the driver by the elements of the protective structure is not observed. Therefore, the protective structure AI.209.45.011.00 cab of tractors type C25 «Slobozhanets» withstood static tests for compliance with DSTU ISO 5700.

Keywords: protective structure; static load; test force; moving; absorbed energy; deformation.

УДК 62-784.5

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАБИН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Постельга С.

[https / orsid org / 0000-0003-1563-3137](https://orcid.org/0000-0003-1563-3137) (095-205-57-84, e-mail: korm_lab@ukr.net
УкрНИИПІТ ім. Л. Погорелого

Аннотация

Цель исследований – определение показателей деформирования кабины с использованием стандартизированных методов и разработанных технических средств.

Методы исследований. Испытания проводили согласно методам, приведенным в ДСТУ ISO 5700 с использованием нагрузочного стенда, датчиков давления и перемещения, цифрового измерительного усилителя Spider 8 и ноутбука Panasonic CF-19 Touchbook, модель: CF-19KHR88PE.

Результаты исследований. На испытания была предоставлена защитная конструкция AI.209.45.011.00 кабины тракторов типа С25 «Слобожанец». Перед проведением испытаний измерили и зафиксировали размеры защитной конструкции кабины. Во время первого продольного нагружения спереди справа нагрузку прикладывали к верхнему поперечному элементу защитной конструкции. Точка приложения нагрузки находилась на расстоянии 260 мм от внешнего угла края защитной конструкции. Было обеспечено с использованием уплотнительного элемента равномерное распределение нагрузки в направлении перпендикулярном направлению действия и вдоль нагрузочного бруса. Было достигнуто значение поглощенной защитной конструкцией энергии 13100 Дж (необходимая энергия - 12586 Дж) при максимальном приложенном усилии 82 кН и перемещении 340 мм. Во время первого и второго испытания конструкцию нагружали сжатием вертикально с силой 180 кН вдоль переднего и заднего верхних поперечных элементов

защитной конструкции с выдержкой указанной силы в течение 5 с. Боковую нагрузку прикладывали горизонтально к верхнему правому продольному элементу защитной конструкции на расстоянии 85 мм вперед от контрольной точки кресла водителя. Длина нагрузочного бруса составляла 600 мм. Было достигнуто значение поглощенной защитной конструкцией энергии 17000 Дж (необходимая энергия - 15732 Дж) при максимальном приложенном усилии 80 кН и перемещении 290 мм. После проведения всех этапов испытаний наибольшего перемещения претерпела передняя крайняя точка защитной конструкции назад - 70 мм, передняя левая точка - 35 мм. Сместились также задние крайние точки в направлении назад на 45 мм - правая и 30 мм - левая. В боковом направлении вперед переместилась на 15 мм передняя правая крайняя точка. После проведенных испытаний зона свободного пространства не была нарушена.

Выводы. Примененные во время испытаний методы и технические средства позволяют с необходимой точностью и достоверностью определить величину прилагаемых усилий и деформации. Во время испытаний на сжатие достигнуты значения испытательной силы (180 кН), а во время приложения горизонтальных нагрузок - поглощенной защитной конструкцией энергии (13100 Дж - продольная нагрузка и 17000 Дж - боковая нагрузка). Наибольшей окончательной деформации подверглась защитная конструкция в передней крайней точке - 70 мм, при этом нарушение зоны свободного пространства водителя элементами защитной конструкции не отмечено. Итак защитная конструкция АИ.209.45.011.00 кабины тракторов типа С25 «Слобожанец» выдержала статические испытания на соответствие ДСТУ ISO 5700.

Ключевые слова: защитная конструкция; статическая нагрузка; испытательная сила; перемещения; поглощенная энергия; деформация.