

ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ROPS ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРА B10

TESTING OF THE PROTECTIVE DEVICE ROPS OF THE INDUSTRIAL TRACTOR B10

С.И. СЕРОВ¹
Д.И. НАРАДОВЫЙ², к.т.н.
И.П. ТРОЯНОВСКАЯ^{1,3}, д.т.н.

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

² Уральский испытательный центр НАТИ, Чебаркуль, Россия

³ Южно-Уральский государственный аграрный университет (ИАИ), Троицк, Россия, tripav63@mail.ru

S.I. SEROV¹
D.I. NARADOVYJ², PhD in Engineering
I.P. TROYANOVSKAYA^{1,3}, DSc in Engineering

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

² Ural Test Center NATI, Chebarkul, Russian Federation,

³ South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russian Federation, tripav63@mail.ru

Согласно требованиям технического регламента, все защитные устройства тракторных агрегатов подлежат обязательной сертификации. Одним из основных средств защиты оператора при опрокидывании является система ROPS. Согласно требованиям ГОСТа, проверка на соответствие защитных конструкций ROPS должна проводиться на основании натурных испытаний. Целью исследования являлась отработка методики проведения эксперимента и получение результата оценки соответствия требованиям безопасности защитного устройства ROPS кабины бульдозера B10 (B12) производства Челябинского тракторного завода. Испытания проводились в Уральском испытательном центре НАТИ. Для этого использовался специальный стенд, позволяющий испытывать защитные кабины тракторов общей массой до 110 тонн. Гидросистема стенда позволяла проводить процесс бокового нагружения ROPS пошагово, где каждый шаг соответствовал деформации конструкции 10 мм. На каждом шаге регистрировались действующие усилия и деформация конструкции. Накопленная конструкцией энергия рассчитывалась как площадь под кривой зависимости усилия от деформации. Требуемое ГОСТом усилие $F_y = 212,4$ кН было достигнуто при деформации 180 мм. Однако недостаток накопленной на том момент энергии потребовал продолжения бокового нагружения конструкции. Необходимая по ГОСТу энергия $U = 40867$ Дж была набрана при боковой деформации $\Delta = 270$ мм. Усилие при этом составило $F_y = 243$ кН. После снятия боковой нагрузки конструкция подверглась вертикальному статическому и продольному нагружению. В процессе всего эксперимента защитного устройства ROPS ремонт, исправление деформаций и приведение конструкции в порядок не допускались. Результаты испытаний конструкции ROPS кабины бульдозера B10 (B12) показали соответствие требованиям ГОСТа по безопасности. При деформации ROPS проникновение элементов защитной конструкции в зону ограниченного объема размещения водителя не наблюдалось.

Ключевые слова: ROPS, защитное устройство, опрокидывание трактора, нагружение ROPS, поглощенная энергия.

According to the requirements of the technical regulations, all protective devices of tractor units are subject to obligatory certification. One of the main protection frame of the operator when overturning is the ROPS system. According to the requirements of State standard (GOST), the test for a compliance with protective structures ROPS should be carried out on the basis of full-scale tests. The aim of the investigation was to develop the experimental procedure and to obtain the result of the assessment of the compliance with the safety requirements of the ROPS safety device of the bulldozer compartment B10 (B12) manufactured by the Chelyabinsk Tractor Plant. The tests were carried out at the Ural Test Center NATI. For this purpose, a special stand was used, allowing to test the protective cabs of tractors with a total mass of up to 110 tons. For this purpose, a special test bench was used, allowing to test the protective cabs of tractors with a total mass up to 110 tons. The hydraulic system of the test bench allowed to carry out the process of lateral loading ROPS step by step, where each step corresponded to the deformation of the construction 10 mm. At each step, the acting forces and deformation of the construction were registered. The accumulated energy of the construction was calculated as the area under the stress-strain curve. The required GOST force $F_y = 212,4$ kN was achieved with a deformation of 180 mm. However, the lack of the accumulated energy at that time required a continuation of the lateral loading of the construction. The required energy according to GOST $U = 40867$ J was collected during the lateral deformation $\Delta = 270$ mm. The force at that was $F_y = 243$. After removing the lateral load, the construction was subjected to vertical static and longitudinal loading. During the whole experiment of the protective device ROPS repair, correction of deformations and bringing the construction into order were not allowed. The results of tests of the ROPS cab construction of bulldozer B10 (B12) have showed the compliance with the GOST safety requirements. During the ROPS deformation, the penetration of the elements of the protective construction into the zone of a limited volume of the driver's seat was not observed.

Keywords: ROPS, safety device, tractor overturning, ROPS loading, absorbed energy.

Актуальность

При переходе к рыночной экономике большинство из действующих стандартов, определяющих требования к надежности, производительности и эффективности тракторных агрегатов, были отменены [1]. Обязательными к применению, в соответствии с Федеральным законом РФ «О техническом регулировании» [2], остались лишь стандарты, обеспечивающие безопасность.

После вхождения России в Таможенный союз с Белоруссией и Казахстаном вступил в действие технический регламент [3], согласно которому обязательной сертификации подлежат защитные устройства всех тракторных агрегатов. Важнейшим из них является защитное устройство кабины трактора при опрокидывании ROPS (roll over protective structure), предназначенное для уменьшения риска нанесения повреждений оператору при условии применения ремней безопасности [4].

Согласно требованиям ГОСТа, оценка соответствия защитного устройства ROPS должна проводиться на основе результатов натурного эксперимента [5]. В связи с этим целью исследования является отработка методики проведения эксперимента и экспериментальная оценка соответствия требованиям безопасности защитной системы ROPS промышленного трактора.

Объект испытаний и аппаратура

В качестве объекта испытаний было выбрано защитное устройство промышленного бульдозера Б10 (Б12) производства Челябинского тракторного завода, представляющее собой двухстоечный (two-post) ROPS.

Эксперимент проводился в Уральском испытательном центре НАТИ, имеющем специальный испытательный стенд (bedplate), позволяющий испытывать защитные кабины тракторов общей массой до 110 тонн. Стенд выполнен в виде силовой рамы, установленной на железобетонном основании (рис. 1).

Внутри стенда устанавливался объект испытаний. Нагружение осуществлялось посредством вертикального и горизонтального гидроцилиндра. Гидравлическая система стенда обеспечивает максимальное усилие 2200 кН [6].

В процессе испытаний велся постоянный контроль нагрузки и деформации конструкции, что позволило вычислять поглощенную энергию в процессе эксперимента. Деформация конструкции замерялась непосредственно

по ходу гидроцилиндра с использованием измерительной линейной шкалы (цена деления 1 мм, погрешность $\pm 0,5$ мм). Усилие определялось посредством манометров, измеряющих давление в обеих полостях гидроцилиндра (погрешность ± 5 %).

Методика проведения испытаний

Согласно ГОСТу, объект испытаний должен монтироваться на стенде так, чтобы жесткость конструкции была эквивалентна жесткости монтажа на раме машины [5]. Поэтому защитное устройство устанавливалось на корпусе бортовых фрикционов бульдозера и закреплялось соответственно реальной установке на тракторе. Внутри испытуемого защитного устройства устанавливался манекен объема ограничения деформации (DLV), имитирующий положение водителя.

Боковая нагрузка прикладывалась к верхней части основных элементов ROPS (рис. 2). Скорость приложения бокового усилия составила 4 мм/с, что позволило считать нагружение статическим. Нагружение защитного устройства производилось ступенчато с шагом, соответствующим деформации 10 мм.

Воздействие боковой нагрузки продолжалось до тех пор, пока значения силы и энергии



Рис. 1. Испытательный стенд



Рис. 2. Боковое нагружение ROPS

не достигли требуемых ГОСТом уровня. Минимальные значения бокового усилия F_y (Н) и требуемой поглощенной энергии U (Дж) определялись в зависимости от массы m (кг) испытываемой машины [5]:

$$F_y = 70000(m/10000)^{1,2}$$

$$\text{и } U = 13000(m/10000)^{1,25}.$$

Защитное устройство ROPS бульдозера Б10 (Б12) массой $m = 25000$ кг при боковом опрокидывании машины должно выдержать усилие $F_y = 210197$ Н и при этом поглотить энергию не менее $U = 40867$ Дж.

После снятия боковой нагрузки на деформируемую конструкцию ROPS прикладывалась статическая вертикальная нагрузка F_z . Согласно ГОСТ, минимальное значение вертикальной нагрузки равно:

$$F_z = 19,6m = 490250 \text{ Н.}$$

Нагрузка распределялась по всей ширине верхней части системы ROPS с помощью переходного элемента (LDD) (рис. 3) и длилось 5 минут.

После снятия вертикальной нагрузки к верхним конструктивным элементам ROPS прикладывалась продольная нагрузка F_x . Продольная нагрузка прикладывалась сзади в месте наибольшей близости к расположению водителя. Направление нагрузки – горизонтально и параллельно продольной оси машины (рис. 4).

Нагружение продолжалось до тех пор, пока величина силы не превысила минимально требуемый по ГОСТу уровень:

$$F_x = 56000(m/10000)^{1,2} = 168157 \text{ Н.}$$



Рис. 3. Вертикальное нагружение



Рис. 4. Продольное нагружение ROPS

В процессе всего эксперимента защитного устройства ROPS ремонт, исправление деформаций и приведение конструкции в порядок не допускались [7]. Постоянно проводился контроль, чтобы элементы конструкции не попали в зону нахождения оператора (DLV).

Результаты испытаний

Развиваемое гидроцилиндром боковое усилие вычислялось по формуле:

$$F_y = \rho_{\text{п}} S_{\text{п}} - \rho_{\text{ш}} S_{\text{ш}},$$

где $\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{ш}}$ – значения давления в поршневой и штоковой полости силового гидроцилиндра, $S_{\text{п}}, S_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения поршня и штока силового гидроцилиндра. Регистрация давления через каждые 10 мм позволили построить зависимость бокового усилия F_y от деформации (deflection) конструкции Δ (рис. 5). Характер кривой $F_y(\Delta)$ наглядно свидетельствует о наличии пластических деформаций при боковом нагружении.

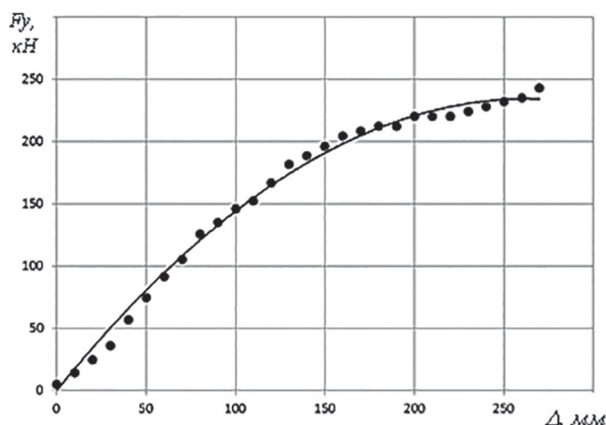


Рис. 5. Зависимость бокового усилия F_y от деформации Δ конструкции ROPS

Полученная экспериментальная кривая $F_y(\Delta)$ хорошо (с достоверностью $R^2 = 0,9942$) описывается полиномом второго порядка: $F_y = -0,0034^2 + 1,778$. Поглощенная системой ROPS энергия считалась как площадь под кривой $F_y(\Delta)$:

$$U = 0,5(\Delta_1 F_{y1}) + 0,5(\Delta_2 - \Delta_1)(F_1 + F_2) + \dots + 0,5(\Delta_n - \Delta_{n-1})(F_{n-1} + F_n),$$

где F_{yi}, Δ_i – сила и деформация на i -м шаге нагружения.

Необходимое по ГОСТу усилие $F_y = 212,4$ кН достигнуто конструкцией при деформации 180 мм. Однако накопленная на тот момент энергия составила $U = 22166$ Дж вместо требуемой $U = 40867$ кДж.

Необходимая энергия ($U = 42374$ Дж) была набрана при боковой деформации $\Delta = 270$ мм. Усилие при этом составило $F_y = 243$ кН.

Достигнутые уровни сил и энергии без проникновения элементов конструкции ROPS в зону DLV в результате проведенных испытаний защитной кабины бульдозера Б10 (Б12) приведены в таблице.

Требуемые и достигнутые уровни сил и энергии защитной конструкции ROPS бульдозера Б10 (Б12)

Показатель	Требование ГОСТ	Экспериментальное значение
Боковое усилие F_y , Н	210197	243157
Энергия, поглощаемая конструкцией при боковом нагружении U , Дж	40867	42374
Вертикальное усилие F_z , Н	490250	519900
Продольное усилие F_x , Н	168157	17380

Заключение

В процессе испытаний защитного устройства ROPS кабины бульдозера Б10 (Б12) были достигнуты требуемые ГОСТ показатели сил и энергии. Система ROPS выдержала все виды нагружения (боковое, вертикальное и продольное). Полученные конструкцией пластические деформации не нарушили зону DLV. В результате сделано заключение о соответствии конструкции ROPS требования ГОСТа по безопасности кабины бульдозера Б10 (Б12) при опрокидывании.

Литература

1. Хвоин Д.А. Повышение эффективности защитных устройств кабин лесозаготовительных машин: дисс. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2011. 125 с.
2. О техническом регулировании: Федеральный закон РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ // Российская газета. 2002. 31 декабря. № 245.
3. ТР ТС 010/2011. О безопасности машин и оборудования. Технический регламент таможенного союза. 2011. 66 с.
4. ГОСТ 12.2.019-2005 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. М.: Стандартинформ. 2005. 28 с.
5. ГОСТ Р ИСО 3471-2009. Машины землеройные. Устройства защиты при опрокидывании. Технические требования и лабораторные испытания. М.: Стандартинформ. 2009. 30 с.
6. Шаталинская Е.А. и др. Стенд для испытаний защитных устройств промышленных тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1989. № 11. С. 23–24.
7. Зузов В.Н., Маркин И.В. Оценка пассивной безопасности кабин тракторов на стадии проектирования // Тракторы и сельхозмашины. 2001. № 4. С. 26–27.

Таблица

References

1. Hvojn D.A. Povyshenie chffektivnosti zashchitnyh ustrojstv kabin lesozagotovitel'nyh mashin: diss. ... kand. tekhn. nauk [Increase of the efficiency of protective devices of cabs of forest machines: dissertation for a degree of the candidate of technical sciences]. Petrozavodsk, 2011. 125 p.
2. Federal'nyj zakon ot 27.12.2002 No 184-FZ (red. ot 29.07.2017) «O tekhnicheskom regulirovanii». Rossijskaya gazeta ot 31 dekabrya 2002. No 245.
3. TR TS 010/2011. O bezopasnosti mashin i oborudovaniya [On the safety of machinery and equipment]. Tekhnicheskij reglament tamozhennogo soyuza. 2011. 66 p.
4. GOST 12.2.019-2005 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Traktory i mashiny samohodnye sel'skohozyajstvennye. Obschie trebovaniya bezopasnosti [Occupational safety standards system (SSBT). Agricultural tractors and self-propelled machines. General safety requirements]. Moscow: Standartinform Publ.. 2005. 28 p.
5. GOST R ISO 3471-2009. Mashiny zemlerojnye. Ustrojstva zashchity pri oprokidyvanii. Tekhnicheskie trebovaniya i laboratornye ispytaniya [Earth-moving machinery – Roll-over protection structure – Laboratory tests and performance requirements]. Moscow: Standartinform Publ.. 2009. 30 p.
6. SHatalinskaya E.A. i dr. Test bench for the protective devices of industrial tractors. Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. 1989. No 11, pp. 23–24.
7. Zuzov V.N., Markin I.V. Assessment of passive safety of tractor cabins at the design stage. Traktory i sel'hozmashiny. 2001. No 4, pp. 26–27.