

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ УСИЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ROPS БУЛЬДОЗЕРА Б14

О.А. Гребенщикова¹, *olgai3@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5941-211X*

И.П. Трояновская¹, *tripav63@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2763-0515*

А.А. Абызов², *abyzovaa@susu.ru*

С.Г. Некрасов², *nekrasovsg@susu.ru*

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Согласно требованиям технического регламента Таможенного союза, все бульдозеры должны быть оборудованы системой защиты оператора ROPS при опрокидывании агрегата. Бульдозеры Б11 и Б14 производства Челябинского тракторного завода имеют одинаковую шестигранную кабину. Однако разная масса этих бульдозеров не позволяет использовать один ROPS. Целью исследования была модернизация защитной конструкции ROPS бульдозера Б11 для использования ее на бульдозере Б14. Оценка соответствия ROPS требованиям безопасности проводилась на основе натурных экспериментов в соответствии с требованиями ГОСТ. Первоначально были выявлены слабые места защитной кабины. Усиление конструкции ROPS включало в себя увеличение жесткости узла крепления и усиление самого ROPS путем приварки усиливающих уголков к верхней части стоек. Последующие испытания подтвердили увеличение несущей способности усиленной конструкции ROPS. Усиленная конструкция ROPS поглотила требуемую энергию удара 40,9 кДж при деформации 355 мм при боковой нагрузке. Требуемая нагрузка 217 кН была достигнута при деформации 390 мм. После снятия боковой нагрузки конструкция ROPS с пластической деформацией была дополнительно подвергнута вертикальной нагрузке. Проникновения деталей конструкции ROPS в область ограниченного объема, имитирующую место оператора, не наблюдалось. Это подтвердило соответствие усиленной конструкции ROPS требованиям безопасности при ее эксплуатации на бульдозере Б14.

Ключевые слова: защитная кабина, опрокидывание тракторного агрегата, продольная нагрузка, энергия удара, ограниченное пространство оператора, остаточная деформация

Для цитирования: Оценка безопасности усиленной системы ROPS бульдозера Б14 / О.А. Гребенщикова, И.П. Трояновская, А.А. Абызов, С.Г. Некрасов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2025. Т. 25, № 3. С. 74–82. DOI: 10.14529/engin250307

Original article

DOI: 10.14529/engin250307

SAFETY ASSESSMENT OF THE REINFORCED ROPS SYSTEM OF THE B14 BULLDOZER

O.A. Grebenschchikova¹, olgai3@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5941-211X>

I.P. Troyanovskaya¹, tripav63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2763-0515>

A.A. Abyzov², abyzovaa@susu.ru

S.G. Nekrasov², nekrasovsg@susu.ru

¹South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. According to the requirements of the technical regulations of the Customs Union, all bulldozers must be equipped with a ROPS operator protection system when the unit overturns. The B11 and B14 bulldozers manufactured by the Chelyabinsk Tractor Plant have the same hexagonal cabin. However, the different weights of these bulldozers do not allow using one ROPS. The aim of the study was to upgrade the ROPS protective system of the B11 bulldozer for use on the B14 bulldozer. The assessment of ROPS compliance with safety requirements was carried out on the basis of full-scale experiments in accordance with GOST requirements. The weak points of the protective cabin were initially identified. The ROPS structure reinforcement included increasing the rigidity of the attachment point (side clutch housing) and strengthening the structure itself by welding reinforcing angles to the upper part of the struts. Subsequent tests confirmed the increase in the load-bearing capacity of the reinforced ROPS structure. The reinforced ROPS absorbed the required impact energy of 40.9 kJ at a deformation of 355 mm under lateral loading. The required load of 217 kN was achieved with a deformation of 390 mm. After removing the lateral load, the structure with plastic deformation was additionally subjected to vertical loading. No penetration of ROPS structure parts into the limited volume area simulating the operator's position was observed. This confirmed the compliance of the reinforced ROPS structure with safety requirements for its operation on the B14 bulldozer.

Keywords: protective cabin, tractor unit rollover, longitudinal load, impact energy, operator confined space, residual deformation

For citation: Grebenschchikova O.A., Troyanovskaya I.P., Abyzov A.A., Nekrasov S.G. Safety assessment of the reinforced ROPS system of the B14 bulldozer. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2025:25(3):74–82. (In Russ.) DOI: 10.14529/engin250307

Введение

Вопросы безопасности и жизнедеятельности человека всегда имели приоритетное значение. Эти вопросы, как правило, регламентируются различными законами или ГОСТами [1, 2]. В настоящий момент (после вступления России в Таможенный союз), все защитные устройства тракторных агрегатов подлежат обязательной сертификации [3, 4] на основе технического регламента [5]. Одной из основных систем пассивной безопасности является защитная кабина *ROPS* (Roll-Over Protective Structure), предназначенная для снижения риска повреждений оператора тракторного агрегата при опрокидывании [6–8].

Бульдозер является одним из ярких представителей землеройных тракторных агрегатов, предназначенных для разработки грунта. Они широко используются при строительстве каналов и гидроэлектростанций, шоссейных и железных дорог, добыче полезных ископаемых, при сооружении различных промышленных и гражданских объектов, прокладке магистральных нефтепроводов и газопроводов и других отраслях народного хозяйства.

Одним из ведущих производителей отечественных бульдозеров является Челябинский тракторный завод (ЧТЗ). Наиболее популярными моделями бульдозеров производства ЧТЗ являются бульдозеры Б11 и Б14, характеризуемые высокой степенью унификации. Для улучшения обзорности на обеих моделях бульдозеров используется шестигранная кабина.

Использование одинаковой кабины подразумевает возможность единой конструкции защитной системы *ROPS*. Однако бульдозеры Б11 и Б14 имеют разную массу и относятся к разным тяговым классам: Б11 – к 10-му тяговому классу, Б14 – к 15-му тяговому классу.

Цель исследования: модернизация защитной системы *ROPS* бульдозера Б11 для ее эксплуатации на бульдозере Б14.

Материалы и методы

В качестве объекта испытаний была взята защитная кабина *ROPS* бульдозера Б11, которая успешно прошла сертификационные испытания [9, 10]. Масса бульдозера Б14 составляет 25 тонн, что на 5 тонн больше массы бульдозера Б11. В связи с этим возникла необходимость в дополнительной проверке защитной кабины *ROPS* на соответствие требованиям безопасности для бульдозера большей массы.

Сегодня сертификация защитных кабин *ROPS* разрешена только на основе натурных испытаний [11]. Согласно ГОСТ [2] боковое опрокидывание бульдозера осуществляется на стенде [12–14] путем приложения боковой нагрузки F_y , практически равной весу тракторного агрегата. При этом обязательно должны выполняться три условия:

1) величина бокового усилия должна быть не менее

$$F_y = 70000 \text{ (m/10000)}^{1,2}, \text{ Н,} \quad (1)$$

где m – масса тракторного агрегата (кг);

2) величина поглощенной энергии удара U [15] равна

$$U = 13000(m/10000)^{1,25}, \text{ Дж;} \quad (2)$$

3) деформация Δ защитной конструкции *ROPS* не должна нарушать ограниченное пространство (DLV), имитирующее положение оператора. Для этого в процессе эксперимента внутри защитной кабины *ROPS* устанавливался манекен (рис. 1), размеры которого определяли необходимый объем DLV [16].



Рис. 1. Испытания защитного устройства ROPS при боковом нагружении

Fig. 1. Testing the protection system ROPS under lateral load

Для определения величины поглощенной энергии в процессе испытаний проводился постоянный контроль боковой нагрузки F_y и деформации Δ защитной конструкции *ROPS*. Нагрузка осуществлялась посредством силового гидроцилиндра со скоростью 4 мм/с. Экспериментально усилие F_y вычислялось как разница между усилиями в поршне и штоковой полости [17]

$$F_y = \rho_n S_n - \rho_{ш} S_{ш}, \quad (3)$$

где $\rho_n, \rho_{ш}$ – давление в поршневой и штоковой полости силового гидроцилиндра; $S_n, S_{ш}$ – площади поперечного сечения поршня и штока силового гидроцилиндра.

Деформация Δ замерялась непосредственно ходом гидроцилиндра с погрешностью $\pm 0,5$ мм. Фиксирование бокового усилия через каждые $\Delta = 10$ мм хода гидроцилиндра позволило получить зависимость $F_y(\Delta)$ в реальном времени. Поглощенная системой *ROPS* энергия U определялась как площадь под этой зависимостью $F_y(\Delta)$ [18, 19] и вычислялась

$$U = 0,5\Delta_1 F_{y1} + 0,5(\Delta_1 - \Delta_2)(F_{y2} + F_{y1}) + \dots + 0,5(\Delta_i - \Delta_{i-1})(F_{yi} + F_{yi-1}), \quad (4)$$

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

Результаты и обсуждения

Согласно (1), (2) боковая нагрузка при опрокидывании бульдозера Б14 должна составлять не менее $F_y = 210$ кН. При этом энергия удара $U = 40,9$ кДж.

Усиление конструкции

В процессе бокового нагружения при перемещении $\Delta = 460$ мм боковая сила достигла значения $F_y = 172$ кН, что соответствовало требованиям для бульдозера Б11. Однако последующее увеличение нагрузки привело к появлению трещин в верхней части стоек конструкции (рис. 2).



Рис. 2. Зарождение трещин в конструкции ROPS при боковом нагружении
Fig. 2. Crack initiation in ROPS structure under lateral loading

Во избежание дальнейшего разрушения конструкции *ROPS* испытания были приостановлены. Наличие трещин показало слабое место в конструкции *ROPS*, где требуется усиление. Для усиления сварных швов в местах зарождения трещин в верхней части вертикальных стоек были приварены дополнительные усиливающие уголки [20, 21] (рис. 3).

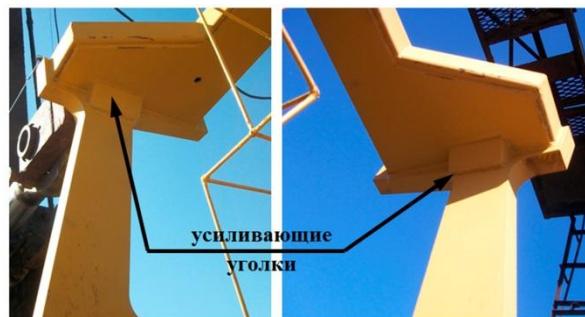


Рис. 3. Зарождение трещин в конструкции ROPS при боковом нагружении
Fig. 3. Crack initiation in ROPS structure under lateral loading

Кроме того, большое влияние на деформацию *ROPS* оказывает ее закрепление. Поэтому было решено увеличить жесткость корпуса бортовых фрикционов дополнительной стяжкой и уголками (рис. 4).



Рис. 4. Увеличение жесткости крепления ROPS с помощью (а) стяжки и (б) уголков
Fig. 4. Increasing the rigidity of the ROPS fastening using (a) tie rods and (b) angles

Результаты испытаний

На основе замеренных давлений в поршневой ρ_n и штоковой $\rho_{ш}$ полости по формуле (3) было рассчитано боковое усилие F_y на каждом шаге хода силового гидроцилиндра Δ . На рис. 5 представлены экспериментальные зависимости $F_y(\Delta)$ для исходной защитной системы *ROPS* бульдозера Б11 и усиленной конструкции *ROPS*.

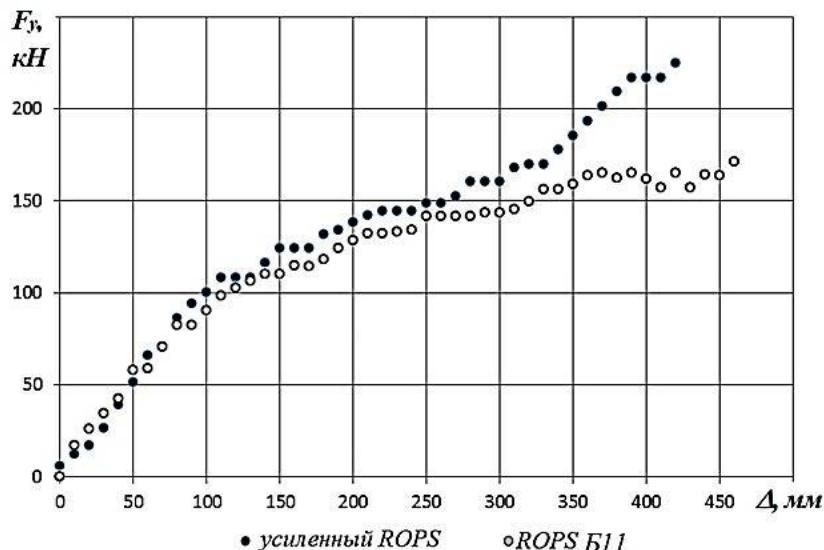


Рис. 5. Экспериментальные значения бокового усилия F_y для *ROPS* бульдозера Б11 и усиленного *ROPS* для Б14 в зависимости от их деформации Δ

Fig. 5. Experimental values of the lateral force F_y for the *ROPS* of the B11 bulldozer and the reinforced *ROPS* for the B14, depending on their deformation Δ

Экспериментальные данные подтвердили положительный эффект от усиления конструкции. У защитной конструкции *ROPS* бульдозера Б11 уже после деформации $\Delta = 300$ мм наблюдалась пластическая стадия, характеризуемая большим ростом деформации при незначительном увеличении усилия. Поэтому предельное значение бокового усилия данной конструкции составило $F_y = 172$ кН. Увеличение жесткости конструкции *ROPS* позволило обеспечить требуемое ГОСТ значение боковой нагрузки $F_y = 210$ кН. Усиленная конструкция уже при деформации $\Delta = 390$ мм выдержала боковое усилие $F_y = 217$ кН.

Для оценки соответствия усиленной конструкции *ROPS* требованиям безопасности была рассчитана поглощенная энергия удара (4), определяемая как площадь под кривой $F_y(\Delta)$. Экспериментальные данные представлены в таблице.

Экспериментальные значения бокового усилия F_y и энергии деформации U на каждом шаге хода гидроцилиндра Δ
Experimental values of lateral force F_y and deformation energy U at each step of the hydraulic cylinder stroke Δ

Δ	мм	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
F_y	кН	6,1	12,4	17,1	26,5	39,1	51,6	65,8	70,5	86,3	94,2	101	108	108	109
U	кДж	—	0,1	0,24	0,46	0,78	1,24	1,83	2,51	3,29	4,19	5,17	6,21	7,30	8,38

Δ	мм	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270
F_y	кН	116	124	124	124	132	134	138	142	145	145	145	149	149	153
U	кДж	9,50	10,7	11,9	13,2	14,4	15,8	17,2	18,6	20,0	21,5	22,9	24,4	25,9	27,3

Δ	мм	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410
F_y	кН	160	160	160	168	170	170	178	186	194	202	209	217	217	217
U	кДж	28,9	30,5	32,1	33,8	35,5	37,2	38,9	40,8	42,6	44,6	46,6	48,8	50,9	53,1

По данным таблицы видно, что требуемое ГОСТ значение энергии деформации $U = 40,9$ кДж достигнуто уже при усилии $F_y \approx 190$ кН при деформации $\Delta \approx 355$. Необходимая энергия удара U достигается раньше условия достижения боковой силой F_y требуемого значения.

Для проверки сохранности ограниченного объема DLV , имитирующего положение оператора бульдозера, после боковой нагрузки было приложено дополнительное вертикальное усилие. Усилие прикладывалось к деформируемой конструкции $ROPS$ (рис. 6).

Нагрузка прикладывалась на конструкцию с остаточной деформацией (согласно ГОСТ исправление деформации не допускается). Усиленная защитная конструкция $ROPS$ нагрузку выдержала, и проникновение в область DLV не наблюдалось [22].



Рис. 6. Нагружение вертикальной нагрузкой усиленного ROPS
Fig. 6. Loading the reinforced ROPS structure with a vertical load

Заключение

Согласно требованиям Таможенного союза все тракторные агрегаты должны быть оснащены защитными системами $ROPS$. Бульдозеры Б11 и Б14 имеют одинаковую конструкцию кабины, что позволяет использовать один $ROPS$ на обе машины. Однако масса бульдозера Б14 на 20 % больше массы Б11, что требует усиления конструкции $ROPS$.

Экспериментально были определены слабые места и проведена модернизация защитной системы. Для усиления конструкции была увеличена жесткость корпуса бортовых фрикционов и усилены вертикальные стойки путем приварки дополнительных уголков.

Усиленная конструкция прошла испытания по оценке безопасности кабины при опрокидывании тракторного агрегата. В процессе бокового нагружения требуемое значение поглощенной энергии $U = 40,9$ кДж было достигнуто при деформации $\Delta \approx 355$ мм. Требуемое боковое усилие $F_y = 217$ кН было достигнуто при деформации $\Delta = 390$ мм. Конструкция $ROPS$ обеспечивает поглощение необходимой энергии удара раньше, чем величину усилия.

После снятия боковой нагрузки деформированная система $ROPS$ нагружалась дополнительной вертикальной силой. После нагружения разрушения конструкции не наблюдалось. Проникновение в область ограниченного объема DLV отсутствовало. Усиленная конструкция $ROPS$ успешно прошла испытания, что подтверждает ее соответствие требованиям безопасности при эксплуатации ее на бульдозере Б14.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «О техническом регулировании» // Российская газета от 31 декабря 2002. № 245.
2. ГОСТ Р ИСО 3471-2009. Машины землеройные. Устройства защиты при опрокидывании. Технические требования и лабораторные испытания. М.: Стандартинформ. 2009. 30 с.
3. Troyanovskaya I., Kalugin A. Certification Tests of a Protective Device Such as ROPS to Ensure Safe Usage of Tractors // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 224, no. 02061. DOI: 10.1051/matecconf/201822402061
4. Lim R.G. et al. Agricultural Tractor Roll Over Protective Structure (ROPS) Test Using Simplified ROPS MODEL // Korean Journal of Agricultural Science. 2022. T. 49, № 4. C. 823–835. DOI: 10.7744/kjoas.20220071
5. ТР ТС 010/2011. О безопасности машин и оборудования. Технический регламент таможенного союза. 2011. 66 с.
6. Шишокин А.Э., Смирнов М.П. Анализ систем безопасности ROPS/FOPS кабин тракторов и спецтехники // Студенческая наука – первый шаг в академическую науку. 2021. С. 260–263.
7. Зузов В.Н., Маркин И.В. Оценка пассивной безопасности кабин тракторов на стадии проектирования // Тракторы и сельхозмашини. 2001. № 4. С. 26–27.
8. Кartoшkin A.P. и др. Результаты стендовых испытаний трактора МТЗ-80 с газобаллонным оборудованием на устойчивость против опрокидывания // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 61. С. 53–57.
9. Серов С.И. и др. Испытания защитного устройства ROPS промышленного трактора Б10 // Тракторы и сельхозмашини. 2018. №3 С. 68–72.
10. Troyanovskaya I.P. et al. Estimating Safety of a Tractor Cab with the Protective System ROPS // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 450, no. 032021. DOI: 10.1088/1757-899X/450/3/032021
11. Лисовский Э.В., Литвинюк П.С., Шляжко С.А. Оценка соответствия требованиям ISO 3471 и доработка конструкции ROPS методом компьютерного моделирования // Актуальные вопросы машиноведения. 2019. Т. 8. С. 84–89.
12. Серов С.И. и др. Оценка безопасности кабины трактора Б11 (Б14) // Труды НАМИ. 2018. № 4(275). С. 91–97.
13. Vigoroso L., Caffaro F., Micheletti Cremasco M., Cavallo E. Improving Tractor Safety: a Comparison between the Usability of a Conventional and Enhanced Rear-mounted Foldable ROPS (FROPS) // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19, no. 16. P. 10195. DOI: 10.3390/ijerph191610195
14. Шаталинская Е.А. и др. Стенд для испытаний защитных устройств промышленных тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1989. № 11. С. 23–24.
15. Вдовин Д.С. Метод топологической оптимизации в задачах проектирования безопасных кабин сельскохозяйственной и строительной техники // Известия МГТУ МАМИ. 2018. № 4 (38). С. 21–29.
16. ГОСТ ISO 3164-2016. Машины землеройные. Лабораторные испытания по оценке устройств защиты. Требования к пространству, ограничивающему деформацию.
17. Хвойн Д.А. Повышение эффективности защитных устройств кабин лесозаготовительных машин: дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск. 2011. 125 с.
18. Фьюк Ч.Х, Савельев А.Г. Определение параметров удара на систему защиты оператора ROPS при опрокидывании машины // Строительные и дорожные машины. 2022. № 12. С. 17–20.
19. Чи Ха.Ф., Савельев А.Г. Определение параметров удара при опрокидывании кабины ROPS // Интерстроймех-2022. 2022. С. 125–133.
20. Скобцов И.Г. Оценка вероятности безотказной работы системы ROPS лесозаготовительных машин с позиций механики разрушения // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 4 (149). С. 90–94.
21. Rondelli V., Guzzomi A.L. Selecting ROPS Safety Margins for Wheeled Agricultural Tractors Based on Tractor Mass // Biosystems Engineering. 2010. Vol. 105, no. 3. P. 402–410. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.12.013

22. Четвериков М.В., Гончаров Р.Б., Бутарович Д.О. Исследование остаточного напряжённо-деформированного состояния несущей системы мини-погрузчика при многократном нагружении по требованиям стандарта безопасности ROPS // Труды НАМИ. 2023. № 1 (292). С. 46–55. DOI: 10.51187/0135-3152-2023-1-46-55

References

1. Federal'nyy zakon ot 27.12.2002 № 184-FZ (red. ot 29.07.2017) «O tekhnicheskem regulirovaniyu» [Federal Law of 2002.12.31 No. 184-FZ. On Technical Regulation]. *Rossiyskaya Gazeta*, 2012, no. 245. (In Russ.)
2. GOST R ISO 3471-2009. *Mashiny zemleroynye. Ustroystva zashchity pri oprokidyvanii. Tekhnicheskie trebovaniya i laboratornye ispytaniya* [GOST R ISO 3471. Earth-moving Machinery. Rollover Protective Devices. Technical Requirements and Laboratory Tests]. Moscow, 2009. 30 p.
3. Troyanovskaya I., Kalugin A. Certification Tests of a Protective Device Such as ROPS to Ensure Safe Usage of Tractors. *MATEC Web of Conferences*, 2018; 224: 02061. DOI: 10.1051/matecconf/201822402061
4. Lim R.G. et al. Agricultural Tractor Roll Over Protective Structure (ROPS) Test Using Simplified ROPS Model. *Korean Journal of Agricultural Science*, 2022; 49 (4): 823–835. DOI: 10.7744/kjoas.20220071
5. TR TS 010/2011. O bezopasnosti mashin i oborudovaniya. Tekhnicheskiy reglament tamozhennogo soyuza [TR CU 010. On the safety of machinery and equipment. Technical regulations of the Customs Union], 2011. 66 p.
6. Shishokin A.E., Smirnov M.P. Analysis of ROPS/FOPS Safety Systems of Tractor and Special Equipment Cabins. *Student science – the first step into academic science*. 2021: 260–263. (In Russ.)
7. Zuzov V.N., Markin I.V. Evaluation of Passive Safety of Tractor Cabins at the Design Stage. *Tractors and agricultural machinery*, 2001; 4: 26–27. (In Russ.)
8. Kartoshkin A.P. et al. Results of Bench Tests of the MTZ-80 Tractor with Gas-cylinder Equipment for Stability Against Overturning. *Bulletin of the International Academy of Agrarian Education*, 2022; 61: 53–57. (In Russ.)
9. Serov S.I. et al. Testing the ROPS Protective Device of the B10 Industrial Tractor. *Tractors and Agricultural Machinery*, 2018; 3: 68–72. (In Russ.)
10. Troyanovskaya I.P. et al. Estimating Safety of a Tractor Cab with the Protective System ROPS. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018; 450: 032021. DOI: 10.1088/1757-899X/450/3/032021
11. Lisovsky E.V., Litvinyuk P.S., Shlyazhko S.A. Assessment of Compliance with ISO 3471 Requirements and Refinement of the ROPS Design Using Computer Modeling. *Actual Issues of Mechanical Engineering*. 2019; 8: 84–89. (In Russ.)
12. Serov S.I. et al. Safety Assessment of the B11 (B14) Tractor Cabin. *Proceedings of NAMI*, 2018; 4 (275): 91–97. (In Russ.)
13. Vigoroso L., Caffaro F., Micheletti Cremasco M., Cavallo E. Improving Tractor Safety: a Comparison between the Usability of a Conventional and Enhanced Rear-mounted Foldable ROPS (FROPS). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022; 19 (16): 10195. DOI: 10.3390/ijerph191610195 (In Russ.)
14. Shatalinskaya E.A. et al. Test Stand for Protective Devices of Industrial Tractors. *Tractors and Agricultural Machinery*, 1989; 11: 23–24. (In Russ.)
15. Vdovin D.S. Method of Topological Optimization in Problems of Designing Safe Cabins of Agricultural and Construction Machinery. *Bulletin of Moscow State Technical University MAMI*, 2018; 4 (38): 21–29. (In Russ.)
16. GOST ISO 3164. *Earth-moving Machinery. Laboratory Tests for the Assessment of Protection Devices. Requirements for Deformation-Limiting Space*. Moscow, 2016. (In Russ.)
17. Khvojn D.A. *Improving the Efficiency of Protective Devices in Logging Machine Cabins*: Diss. Ph (Engineer). Petrozavodsk, 2011. 125 p. (In Russ.)
18. Fyok Ch.Kh., Savelyev A.G. Determination of Impact Parameters on the ROPS Operator Protection System During Machine Rollover. *Construction and road machines*, 2022; 12: 17–20. (In Russ.)

19. Chi Kh.F., Saveliev A.G. Determination of Impact Parameters During Rollover of the ROPS. *Interstroymekh-2022*, 2022: 125–133. (In Russ.)
20. Skobtsov I.G. Evaluation of the Probability of Failure-free Operation of the ROPS System of Logging Machines from the Standpoint of Fracture Mechanics. *Scientific Notes of Petrozavodsk State University*, 2015; 4 (149): 90–94. (In Russ.)
21. Rondelli V., Guzzomi A.L. Selecting ROPS Safety Margins for Wheeled Agricultural Tractors Based on Tractor Mass. *Biosystems Engineering*, 2010; 105 (3): 402–410. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.12.013
22. Chetverikov M.V., Goncharov R.B., Butarovich D.O. Study of the Residual Stress-strain State of the Supporting System of a Mini-loader under Repeated Loading According to the Requirements of the ROPS Safety Standard. *Proceedings of NAMI*, 2023; 1 (292): 46–55. DOI: 10.51187/0135-3152-2023-1-46-55 (In Russ.)

Информация об авторах

Гребенщикова Ольга Александровна, кандидат технических наук, кафедра «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; olgai3@mail.ru

Трояновская Ирина Павловна, доктор технических наук, профессор, кафедра «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; tripav63@mail.ru

Абызов Алексей Александрович, доктор технических наук, доцент, кафедра «Техническая механика», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; abyzovaa@susu.ru

Некрасов Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Информационно-измерительная техника», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; nekrasovsg@susu.ru

Information about the authors

Information about the authors

Olga A. Grebenschchikova, Candidate of Engineering Sciences, Department of Tractors, Agricultural Machinery and Agriculture, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; olgai3@mail.ru

Irina P. Troyanovskaya, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Tractors, Agricultural Machinery and Agriculture, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; tripav63@mail.ru

Aleksey A. Abyzov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Mechanics, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; abyzovaa@susu.ru

Sergey G. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information and Measuring Technology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; nekrasovsg@susu.ru

Статья поступила в редакцию 24.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.

The article was submitted 24.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.