

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА С НАВЕСНОЙ МАШИНОЙ НА ГОРНЫХ СКЛОНАХ

Горобей В.П.¹, Москалевич В.Ю.²

¹Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарах» НИЦ «Курчатовский институт», Ялта;

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского – Институт «Агротехнологическая академия», Аграрное

Ключевые слова: трактор, устойчивость, подвеска, опорная длина гусениц, центр тяжести, координаты, угол подъёма, угол уклона.

Аннотация. Исследование посвящено определению показателей устойчивости специального узкогабаритного гусеничного трактора тягового класса 2 для работы на почвах со значительно неровным рельефом и навесным оборудованием. Для определения поперечного угла уклона местности, при котором возможна работа переднеприводного трактора с навесным оборудованием с исключением возможности его опрокидывания рассмотрено положение трактора с максимально отклоненной от продольной оси поворотной рамкой ямокопателя. За базовую модель приняли трактор Т-70 (виноградниковая версия). При определении центра тяжести за базу отсчёта линейных размеров по оси x принимаем вертикальную плоскость, проходящую через ось задних направляющих колёс, а по оси y – опорную поверхность. Для исследований применялся расчетно-аналитический метод. Расчёты проводились для различных опорных длин гусениц при их ширине, равной 300 мм, при использовании стальных и резиноармированных гусениц. Расчёты предельных углов подъёма и уклона местности и построение графических зависимостей выполнялись с использованием табличного процессора Excel.

TO DETERMINE THE STABILITY OF A SPECIAL CRAWLER TRACTOR WITH A MOUNTED MACHINE ON MOUNTAIN SLOPES

Gorobey V.P.¹, Moskalevich V.Yu.²

¹All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" SRC "Kurchatov Institute", Yalta;

²V.I. Vernadsky Crimean Federal University – Institute "Agrotechnological Academy", Agrarное

Keywords: tractor, stability, suspension, support length of tracks, center of gravity, coordinates, angle of ascent, angle of inclination.

Abstract The study is devoted to determining the stability indicators of a special narrow-sized tracked tractor of traction class 2 for work on soils with significantly uneven relief and mounted equipment. To determine the transverse angle of the terrain slope, at which the operation of a front-wheel drive tractor with mounted equipment is possible without the possibility of its overturning, the position of the tractor with the maximum tilted from the longitudinal axis of the rotary frame of the hole digger is considered. The T-70 tractor (vineyard version) was taken as the base model. When determining the center of gravity, the vertical plane passing through the axis of the rear guide wheels is taken as the reference base for the linear dimensions along the x axis, and the supporting surface is taken as the base along the y axis. The calculation and analytical method was used for the research. Calculations were carried out for various support lengths of tracks with their width equal to 300 mm, using steel and rubber-reinforced tracks. Calculations of the maximum angles of ascent and slope of the terrain and the construction of graphical dependencies were performed using the Excel spreadsheet processor.

Введение. Виноградники высаживают рядами, часто разбивают на горных склонах со значительно неровным рельефом. Машина для работы в таких специфических условиях должна быть узкой и маневренной, чтобы не повредить насаждения, а, кроме того, достаточно устойчивой. Трактор Т-50В – гусеничный тягового класса 2 с двигателем мощностью 50 л.с. выпускался на Кишиневском тракторном заводе (КТЗ) в двух модификациях: Т-50В-С2 для выполнения энергоёмких работ в виноградниках с междурядьями шириной 1,5 м и более,

Т-50В-СЗ с уширенной колеей и уширенной гусеничной цепью для выполнения работ в виноградниках с междурядьями 2 м и более [1]. Специализированными тракторами были признаны узкогабаритные трактора этого же завода Т-54В и Т-70В тягового класса 2 [2-4]. Прототипом отечественного универсального трактора данного тягового класса предложено считать универсально-пропашной трактор Т-70 (с его свекловичной и виноградниковой модификациями) [5]. Тяговый КПД гусеничных тракторов на всех почвах выше, чем колесных. Гусеничные тракторы оказывают значительно меньшее давление на почву, имеют лучшую проходимость и меньший увод вниз по склону при движении поперек склонов (работают на склонах с уклонами 10-15°, а при уширенной гусенице – до 20-25°. В промышленных модификациях гусеничных тракторов повышается надёжность их несущих и ходовых систем, они имеют высокую (70% и более) унификацию с базовыми моделями, что значительно облегчает их производство и эксплуатацию [6].

При оценке предельной устойчивости машины следует принимать наихудший, из всех возможных, вариант действия внешних сил. У сельскохозяйственных тракторов при проектировании иногда смещают центр тяжести вперед относительно середины опорной поверхности для того, чтобы выровнять эпюру удельных давлений на грунт при наличии силы тяги на крюке [7]. Исследованиями на безопасность при эксплуатации гусеничных тракторов во время выполнения технологических операций на уклоне показано, что предельное состояние по устойчивости наступит в тот момент времени, когда центр давления расположится на передней кромке опорной поверхности гусеницы [8]. Производительность машин заметно снижается при работе на склонах более 5-6°. Однако для этих условий поправочные коэффициенты еще не установлены. Только в методике ГОСНИТИ предусмотрено для определения производительности при склонах 7-8° ввести поправочный коэффициент 0,92, а при 9-10° – 0,84 [9].

Результаты моделирования положения горизонтальной и вертикальной координат центра тяжести, а также угла поперечной устойчивости и давления на почву движителей базовой модели специального узкогабаритного трактора и перспективного трактора на резиноармированных гусеницах (РАГ) с учётом принятых в производственной практике ее ширины и длины, показали, что по условиям обеспечения поворотливости трактора и величины допустимого давления движителей на почву при ширине гусениц 300 мм длина опорной части стальных гусениц должна находиться в пределах от 200 до 240 см, а резиноармированных гусениц – в пределах от 130 до 240 см [10]. Получены зависимости горизонтального и вертикального смещения центра давления, предельного угла подъёма и допустимого угла поворота от опорной длины металлических и резиноармированных гусениц трактора с передним и задним приводом [11]. Для разработки исходных требований на создание перспективного специального трактора представляет интерес определение показателей его устойчивости для работы на почвах со значительно неровным рельефом и навесным оборудованием с перспективой модернизации ходовой системы.

Материалы и методы исследования. Для определения центра тяжести гусеничного трактора необходимо знать ряд весовых и линейных параметров, а также определиться с общей компоновкой трактора. Центр тяжести гусеничного трактора определяли по двум осям x , y . За базовую модель приняли трактор Т-70 (виноградниковая версия). В качестве навесного оборудования принят ямобур поворотный виноградниковый [12]. Одним из отличительных признаков ямокопателя является увеличение величины вылета рабочего органа относительно продольной оси трактора до 1500 мм (у аналогичных ямокопателей эта величина не превышает 1250 мм). Согласно схеме общей компоновки видно, что основные агрегаты расположены на продольной оси трактора, следовательно, исходя из этого, видно, что центр тяжести гусеничного трактора будет находиться на продольной оси гусеничного трактора с незначительным отклонением в ту или иную сторону. Его положение по осям x и y определяем расчетным путем. При определении центра тяжести за базу отсчета линейных размеров по оси x принимаем вертикальную плоскость, проходящую через ось задних направляющих колёс, а по оси y – опорную поверхность. Для исследований применялся

экономико-статистический метод, расчёты проводились с использованием возможностей программного обеспечения Компас-3D, MS Excel и MathCAD для различных опорных длин гусениц при их ширине b , равной 300 мм, при использовании стальных гусениц и РАГ.

Результаты. Определение предельного угла подъема местности, при котором возможна работа агрегата: переднеприводного гусеничного трактора с навесным оборудованием, на примере поворотного ямокопателя без возможности его опрокидывания осуществляли согласно схеме, приведенной на рисунке 1.

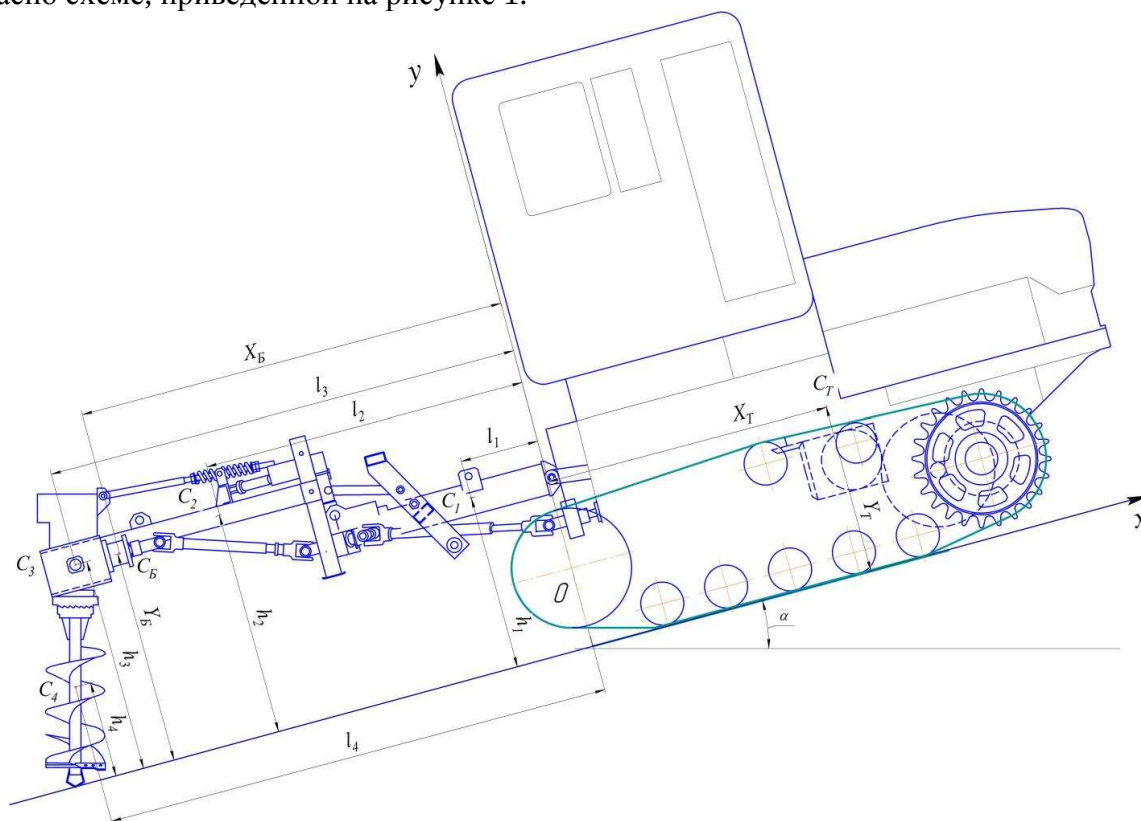


Рис. 1. Схема трактора с поворотным ямокопателем при работе на подъеме (вид сбоку)

Продольная координата X_B центра тяжести ямокопателя определяется по формуле:

$$X_B = \frac{m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3 + m_4 \cdot l_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4},$$

где m_1, m_2, m_3, m_4 – массы соответственно рамы, поворотной рамки, редуктора, бура ямокопателя, равные 150, 90, 55, 40 кг; l_1, l_2, l_3, l_4 – расстояния от оси x до центров тяжести соответственно рамы, поворотной рамки, редуктора, бура ямокопателя (0,4, 1,66, 2,44, 2,6 м).

Вертикальная координата Y_B центра тяжести ямокопателя определяется по формуле:

$$Y_B = \frac{m_1 \cdot h_1 + m_2 \cdot h_2 + m_3 \cdot h_3 + m_4 \cdot h_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4},$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – высоты расположения тяжести соответственно рамы, поворотной рамки, редуктора, бура ямокопателя, равные 0,9, 1,15, 1,1, 0,5 м.

Предельный угол подъема местности определим по выражению:

$$\alpha_{np} = \arctg \frac{m_T \cdot X_T - m_B \cdot X_B}{m_T \cdot Y_T + m_B \cdot Y_B},$$

где m_T, m_B – массы соответственно трактора и ямокопателя; X_T, Y_T – соответственно продольная и вертикальная координаты центра тяжести трактора.

Для определения поперечного угла уклона местности, при котором возможна работа трактора с поворотным ямокопателем без возможности его опрокидывания рассмотрим положение трактора с максимально отклоненной от продольной оси поворотной рамкой ямокопателя (рис. 2).

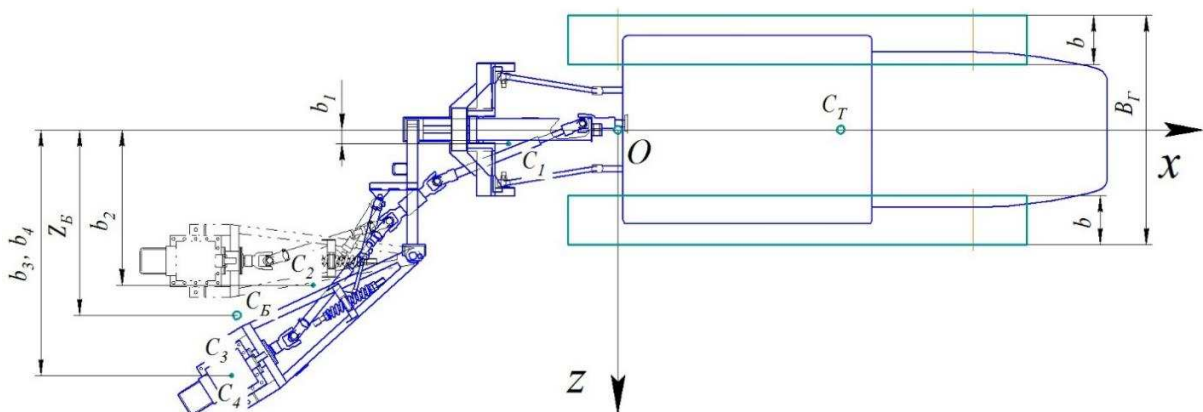


Рис. 2. Схема трактора с поворотным ямокопателем при работе на уклоне (вид сверху)

Поперечная координата Z_B центра тяжести ямокопателя определяется по формуле:

$$Z_B = \frac{m_1 \cdot b_1 + m_2 \cdot b_2 + m_3 \cdot b_3 + m_4 \cdot b_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4},$$

где b_1, b_2, b_3, b_4 – расстояния от оси x до центров тяжести соответственно рамы, поворотной рамки, редуктора, бура ямокопателя, равные 0,05, 1,35, 2,18, 2,18 м.

Предельный угол уклона местности определим по выражению:

$$\beta_{np} = \arctg \frac{0,5m_T \cdot B_G - m_B \cdot Z_B}{m_T \cdot Y_T + m_B \cdot Y_B},$$

где B_G – расстояние между наружными кромками левой и правой гусениц, м.

Расчёты предельных углов подъема α_{np} и уклона β_{np} местности, при которых возможна работа трактора с поворотным ямокопателем без возможности его опрокидывания, и построение графических зависимостей выполнялись с использованием табличного процессора Excel. Графики зависимостей предельных угла подъема α_{np} и угла уклона β_{np} от опорной длины гусениц трактора представлены на рисунке 3.

Анализ графиков на рис. 3 показывает, что опорная длина гусениц трактора в пределах от 120 до 240 см при его работе с поворотным ямокопателем в большей степени влияет на величину предельного угла подъема α_{np} , чем на величину предельного угла уклона β_{np} . Для трактора с металлическими гусеницами $\alpha_{np} = 58-61,6^\circ$, $\beta_{np} = 49,7-50,5^\circ$, а с резиноармированными гусеницами $\alpha_{np} = 57,6-58,7^\circ$, $\beta_{np} = 46,5-46,8^\circ$. При этом величины этих углов не выходят за пределы допустимых значений ($\beta_{np} > 35^\circ$) [13] как в случае использования металлических гусениц, так и резиноармированных гусениц (РАГ).

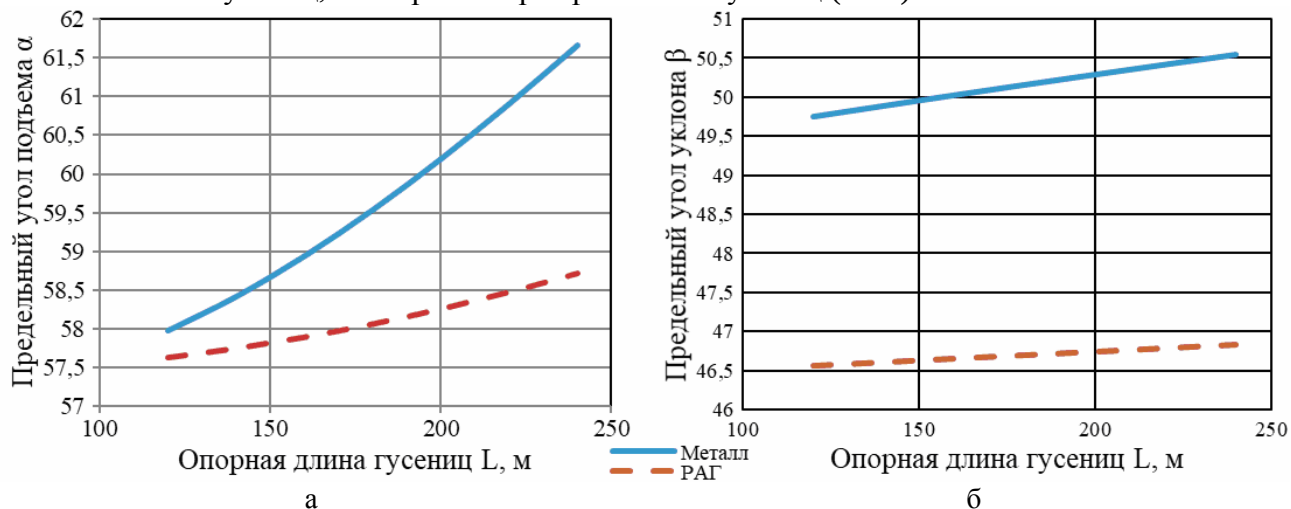


Рис. 3. Графики зависимостей предельных угла подъема α_{np} (а) и угла уклона β_{np} (б) от опорной длины гусениц трактора

Заключение. С учётом линейных и весовых параметров определены показатели предельных углов подъема α_{np} и уклона β_{np} местности, при которых возможна устойчивая работа специального узкогабаритного гусеничного трактора тягового класса 2 для работы на почвах со значительно неровным рельефом с поворотным ямокопателем. Для рассматриваемого диапазона опорной длины гусениц трактора в пределах от 120 до 240 см с металлическими гусеницами $\alpha_{np} = 58-61,6^\circ$, $\beta_{np} = 49,7-50,5^\circ$, а с резиноармированными гусеницами $\alpha_{np} = 57,6-58,7^\circ$, $\beta_{np} = 46,5-46,8^\circ$. Установлено, что опорная длина гусениц трактора при его агрегатировании с поворотным ямокопателем в большей степени влияет на величину предельного угла подъема, чем на величину предельного угла поперечного уклона, при этом величины этих углов не выходят за пределы допустимых значений как в случае использования металлических, так и резиноармированных гусениц. Предусматривается, что полученные результаты исследований будут применены для разработки исходных требований к виноградниковому трактору.

Список литературы

1. Трактор Т-50В гусеничный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stroy-technics.ru/article/traktor-t-50v>.
2. Т-54В специальный гусеничный трактор Кишинёвского тракторного завода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/XvmKh9JHYDzqLhJa>.
3. Протокол № 33-60-76 «И» от 15 ноября 1976 года контрольных испытаний трактора Т-54В «Болгар» изготовления 1975 года. – Херсон, Южно-Украинская МИС, 1976. – 110 с.
4. Крыстья А.Ф., Новиков А.П., Урасов Ю.Г., Харлап М.М. Трактор Т-70С: Учебное пособие. Технические данные и регулировочные параметры, устройство систем и механизмов, эксплуатационным неисправностям и способам их устранения. – М.: Высшая школа, 1979. – 150 с.
5. Шарипов В.М., Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Есеновский-Лашков М.Ю., Овчинников Е.В. К вопросу создания гусеничного трактора для современного сельскохозяйственного производства // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – №2. – С. 17-25.
6. Шарипов В.М. Конструирование и расчёт тракторов. – М.: Машиностроение, 2022. – 752 с.
7. Тараторкин А.И. Исследование параметрических резонансных колебаний в ходовой части гусеничной машины // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2022. – Т. 22, №1. – С. 83-93. – DOI: 10.14529/engin220107.
8. Липкович И.Э., Егорова И.В., Сергеев Н.В., Петренко Н.В., Олдырев С.М. Безопасность при эксплуатации гусеничных тракторов во время выполнения технологических операций // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – №3(47). – С. 78-94.
9. Самсонов В.А., Зангиев А.А., Дидманидзе О.Н. Автоматизированное проектирование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов. – М.: Колос, 1997. – 232 с.
10. Горобей В.П., Москалевич В.Ю. Перспективы компоновки узлов специального гусеничного трактора для работы на склонах // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». – М.: ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2023. – Вып. 32(80). – С. 142-154.
11. Горобей В.П. Исследование влияния параметров основных компоновочных узлов узкогабаритного гусеничного трактора на показатели его устойчивости // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2024. – №38(201). – С. 208-220. – DOI: 10.37279/2413-1946.
12. Патент №2758292 РФ. Ямобур поворотный виноградниковый / В.П. Горобей – Заявка №2021102995 от 08.02.2021; опубл. 06.09.2021, Бюл. № 31.
13. ГОСТ 12.2.019-2005. Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. – Введ. 2010.07.01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 26 с.

References

1. T-50V crawler tractor [Electronic resource] – Access mode: <https://stroy-technics.ru/article/traktor-t-50v>.
2. T-54V special crawler tractor of the Chisinau Tractor Plant [Electronic resource] – Access mode: <https://dzen.ru/a/XvmKh9JHYDzqLhJa>.
3. Protocol No. 33-60-76 "I" dated November 15, 1976, control tests of the T-54V "Bolgar" tractor, manufactured in 1975. – Kherson, South Ukrainian MIS, 1976. – 110 p.
4. Krystya A.F., Novikov A.P., Urasov Yu.G., Kharlap M.M. Tractor T-70S: Textbook. Technical data and adjustment parameters, design of systems and mechanisms, operational malfunctions and methods for their elimination. – M.: Higher school, 1979. – 150 p.
5. Sharipov V.M., Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Yesenovskiy-Lashkov M.Yu., Ovchinnikov E.V. On the issue of creating a tracked tractor for modern agricultural production // Tractors and agricultural machinery. 2018, no. 2, pp. 17-25.

6. Sharipov V.M. Design and calculation of tractors. – M.: Mechanical Engineering, 2022. – 752 p.
7. Taratorkin A.I. Study of parametric resonant vibrations in the chassis of a tracked vehicle // Bulletin of SUSU. Series "Mechanical Engineering". 2022, vol. 22, no. 1, pp. 83-93. DOI: 10.14529/engin220107.
8. Lipkovich I.E., Egorova I.V., Sergeev N.V., Petrenko N.V., Oldyrev S.M. Safety in the operation of tracked tractors during technological operations // Bulletin of agrarian science of the Don. 2019, no. 3(47), pp. 78-94.
9. Samsonov V.A., Zangiev A.A., Didmanidze O.N. Automated design of resource-saving machine-tractor units. – M.: Kolos, 1997. – 232 p.
10. Gorobey V.P., Moskalevich V.Yu. Prospects for the layout of units of a special tracked tractor for work on slopes // Multifunctional adaptive forage production: collection of scientific papers of the Federal Scientific Center "V.R. Williams Institute of Agricultural Science". – M.: FGBOU DPO RAKO APK, 2023. – Iss. 32(80). – P. 142-154.
11. Gorobey V.P. Study of the influence of the parameters of the main layout units of a narrow-sized tracked tractor on its stability indicators // News of the agricultural science of Tavrida. – 2024, no. 38(201), pp. 208-220. DOI: 10.37279/2413-1946.
12. Patent No. 2758292 RU. Rotary vineyard drilling rig / V.P. Gorobey – Appl. No. 2021102995 from 08.02.2021; publ. 06.09.2021, Bull. No. 31.
13. GOST 12.2.019-2005. Occupational safety standards system. Tractors and self-propelled agricultural machines. General safety requirements. – Introduced 2010.07.01. – M.: Standartinform, 2010. – 26 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Горобей Василий Петрович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник сектора разработки и исследований макетных и экспериментальных установок	Gorobey Vasily Petrovich – doctor of technical sciences, senior researcher, leading researcher of the sector for development and research of model and experimental installations
Москалевич Вадим Юрьевич – доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Технические системы в агробизнесе»	Moskalevich Vadim Yuryevich – doctor of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of technical systems in agribusiness
magarach@rambler.ru	

Получена 08.06.2025