

УДК 629.1-02:631.3.07:631.372.

Г.А. Иовлев, И.И. Голдина

Уральский государственный аграрный университет

А.А. Бахтерев

Министерство агропромышленного комплекса и потребительского рынка

Свердловской области

(г. Екатеринбург)

ПРОДОЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА

Показатель продольной устойчивости трактора имеет важное значение с точки зрения безопасности осуществления производственного процесса, а также производительности машинно-тракторных и транспортных агрегатов. Для оценки продольной устойчивости введено понятие «Индекс продольной устойчивости»; произведены расчёты индекса продольной устойчивости произведём на примере тракторов Беларусь 1221 и Case Маххит 130; расчеты продольной устойчивости на примере колёсного трактора Беларусь 82.1. Расчеты представлены в таблицах, по итогам исследований сделаны выводы.

***Ключевые слова:** продольная устойчивость, колесный трактор, индекс продольной устойчивости, устойчивость.*

Григорий Александрович Иовлев – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования в АПК». 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42. E-mail: gri-iovlev@yandex.ru.

Артем Александрович Бахтерев - министр агропромышленного комплекса и потребительского рынка Свердловской области. 620026, г. Екатеринбург, ул. Розы Люксембург, 62. E-mail: minagro@egov66.ru

Ирина Игоревна Голдина – старший преподаватель Уральского государственного аграрного университета. 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42. E-mail: ir.goldina@mail.ru.

LONGITUDINAL STABILITY OF THE WHEELED TRACTOR

The indicator of longitudinal stability of the tractor is important from the point of view of the safety of the production process, as well as the performance of machine-tractor and transport units. To assess the longitudinal stability, the concept of "Index of longitudinal stability" was introduced; calculations of the longitudinal stability index were made using the example of tractors Belarus 1221 and Case Maxxum 130; calculations of longitudinal stability on the example of a wheeled tractor Belarus 82.1. Calculations are presented in tables; conclusions are drawn based on the results of the research.

Key words: *longitudinal stability, wheeled tractor, longitudinal stability index, stability.*

Grigory Iovlev - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Service of transport and technological machines and equipment in the agro-industrial complex", Ural State Agrarian University. 620075, Yekaterinburg, st. Karl Liebknecht, 42. E-mail: gri-iovlev@yandex.ru.

Artem Bakhterev - Minister of Agro-Industrial Complex and Consumer Market of the Sverdlovsk Region, 620026, Yekaterinburg, st. Karl Liebknecht, 62. E-mail: minagro@egov66.ru

Irina Goldina - Senior Lecturer, Ural State Agrarian University. 620075, Yekaterinburg, st. Karl Liebknecht, 42. E-mail: ir.goldina@mail.ru.

Для цитирования

Иовлев Г.А., Бахтерев А.А., Голдина И.И. Продольная устойчивость колёсного трактора// Аграрное образование и наука. 2022. № 3. С. 6.

При выполнении сельскохозяйственных работ по обработке почвы, при выполнении транспортных работ очень важное значение имеет продольная и поперечная устойчивость трактора. Данный показатель имеет важное значение как с точки зрения безопасности осуществления производственного процесса, так и с точки зрения производительности машинно-тракторных и транспортных агрегатов. Как было определено в предыдущих исследованиях, на продольную устойчивость трактора оказывает влияние колёсная база (во многих источниках продольная база трактора), расстояние от центра заднего моста (ЗМ) до центра тяжести (ЦТ), т.е. приложения эксплуатационной массы, расстояния от опорной поверхности до точки приложения ЦТ, эксплуатационная масса.

Для оценки продольной устойчивости введём понятие «Индекс продольной устойчивости», характеризующий колёсную базу, эксплуатационную массу и расстояние от центра заднего моста до ЦТ трактора, выраженный через формулу:

$$I_{\text{ПУ}} = bMTe \quad (2)$$

где b – колёсная база, м;

$MТ$ – эксплуатационная масса, т;

e - расстояние от центра задней оси до центра тяжести (приложения $MТ$), м.

Расчёт индекса продольной устойчивости произведём на примере тракторов Беларусь 1221 и Case Maxxum 130.

Беларус 1221. $I_{\text{ПУ}} = 2,76 \times 5,3 \times 1,035 = 15,14$

Case Maxxum 130. $I_{\text{ПУ}} = 2,412 \times 5,3 \times 0,904 = 11,56$

Результаты остальных расчётов представим в табл. 1.

Таблица 1 - Сравнительные результаты устойчивости тракторов Беларусь и зарубежных тракторов [Иовлев 2019: 17].

Марка трактора	Индекс устойчивости
Беларус 82.1.	9,01
Case Farmal 80JX	5,74
Беларус 1025	11,1

Doutz-Fahr Agrotron 105	12,37
Беларус 1221	15,14
Case Maxxum 130	11,56
Беларус 1523	17,85
Massey Ferguson 7615	19,28
Беларус 2022	23,08
Case Puma 210	22,85
Беларус 3022	39,08
Fendt Vario 930	37,54
Беларус 3522	41,51
John Deer 8345R	47,67

По представленным результатам расчётов, видно, что показатели устойчивости у трактора Беларус 82.1. значительно превышают показатели Case Farmal 80JX за счёт колёсной базы и эксплуатационной массы. Трактор Doutz-Fahr Agrotron 105 более устойчив по сравнению с Беларус 1025, Беларус 1221 по сравнению с Case Maxxum 130, Massey Ferguson 7615 по сравнению с Беларус 1523, Беларус 3022 по сравнению с Fendt Vario 930, John Deer 8345R по сравнению с Беларус 3522. Практически одинаковы показатели устойчивости у тракторов Беларус 2022 и Case Puma 210.

Очень важное значение для устойчивости, в т.ч. и продольной, имеет расстояние от опорной поверхности до центра задней оси трактора. Приведём значения для некоторых моделей тракторов (рис. 1-4).

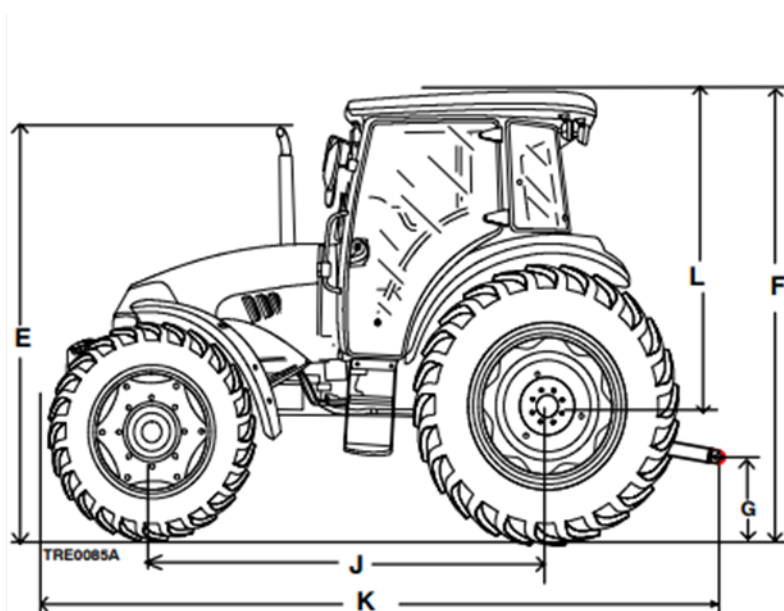


Рисунок 1 - Основные размеры моделей тракторов Case Farmall

В табл. 2 представим основные размеры моделей тракторов Case Farmall.

Таблица 2 - Основные размеры моделей тракторов Case Farmall.

Показатели, мм		Марка тракторов Case Farmall					
Название	Обозначение	70JX	75JX	80JX	90JX	100JX	110JX
Высота	F	2583	2604	2604	2604	2631	2657
Расстояние от верхней точки до центра 3М	L	1891	1891	1891	1891	1891	1891
Расстояние от опорной поверхности до центра 3М	F-L	692	713	713	713	740	766

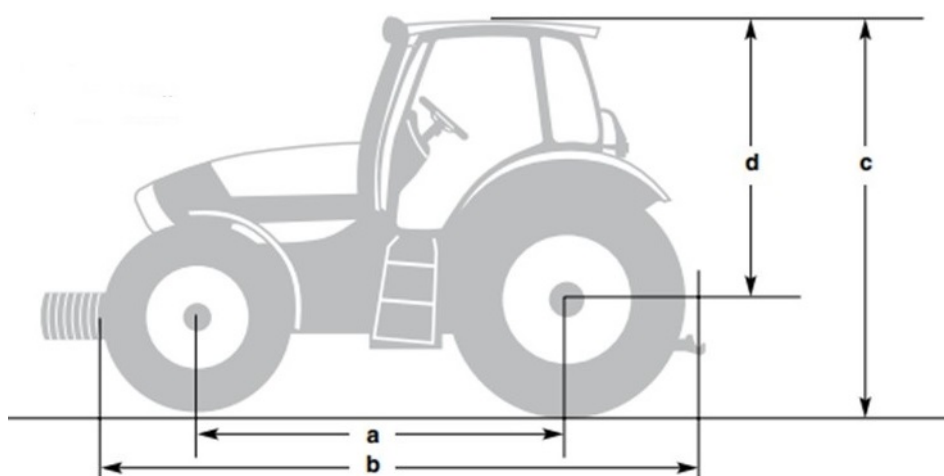


Рисунок 2 - Основные размеры моделей тракторов Doutz-Fahr Agrotron

В табл. 3 представим основные размеры моделей тракторов Doutz-Fahr Agrotron.

Таблица 3 - Основные размеры моделей тракторов Doutz-Fahr Agrotron.

Показатели, мм		Марка тракторов Doutz-Fahr Agrotron					
Название	Обозначение	120	130	150	150,7	165,7	180,7
Высота	c	2922	2922	2922	2997	2997	3127
Расстояние от верхней точки до центра 3М	d	2102	2102	2102	2102	2102	2202
Расстояние от опорной поверхности до центра 3М	c-d	820	820	820	895	895	925



Рисунок 3 - Основные размеры моделей тракторов Case Puma

В табл. 4 представим основные размеры моделей тракторов Case Puma.

Таблица 4 - Основные размеры моделей тракторов Case Puma.

Показатели, мм		Марка тракторов Case Puma					
Название	Обозначение	140	155	180	210	180 CVT	225 CVT
Высота	D	2985	2985	3040	3100	3040	3100
Расстояние от верхней точки до центра ЗМ	C	2180	2180	2240	2240	2240	2240
Расстояние от опорной поверхности до центра ЗМ	D-C	805	805	800	860	800	860

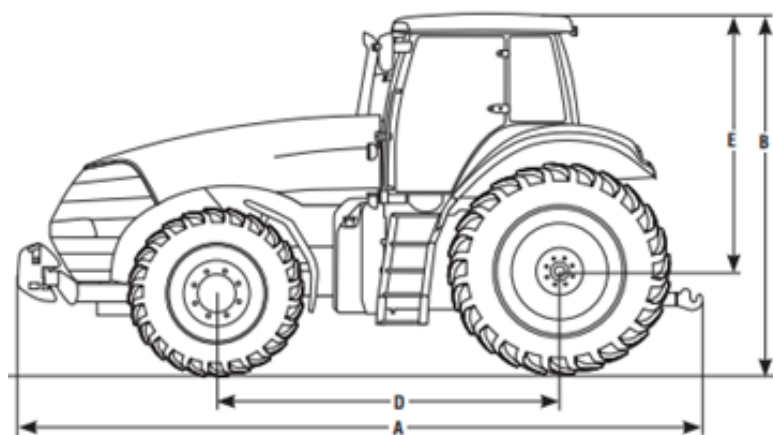


Рисунок 4 - Основные размеры моделей тракторов Case Magnum

В табл. 5 представим основные размеры моделей тракторов Case Magnum.

Таблица 5 - Основные размеры моделей тракторов Case Magnum.

Показатели, мм		Марка тракторов Case Magnum			
Название	Обозначение	260	290	315	340
Высота	В	3378	3378	3378	3378
Расстояние от верхней точки до центра ЗМ	Е	2488	2488	2488	2488
Расстояние от опорной поверхности до центра ЗМ	В-Е	890	890	890	890

Из представленных выше характеристик тракторов и расчётов расстояния от центра заднего моста до центра тяжести, можно предварительно обозначить координаты приложения ЦТ без учёта масс, находящихся выше расстояния от опорной поверхности до центра заднего моста (ЗМ). Так для Case Farmal 80JX - 828×713 мм; для Doutz-Fahr Agrotron 150 - 992×820 мм; для Case Puma 210 - 1052×860 мм; для Case Magnum 260 - 1145×890 мм, для Беларус 82.1 - 919×788 мм. Для трактора Беларус 82.1 с учётом масс, находящихся выше центра заднего моста (двигатель, топливные баки, гидроусилитель рулевого управления, гидробак, силовой цилиндр и т.д.) координаты приложения ЦТ - 919×973 мм. Координаты приложения ЦТ для Беларус 82.1¹, рис. 5 - 930×965 мм.

¹ Трактор МТЗ-82: характеристики и схемы. [Электронный ресурс] URL: <https://garden-shop.ru/traktor-belarus-82-ustrojstvo-chertezhi-i-video.html> (Дата обращения 23.01.2022).

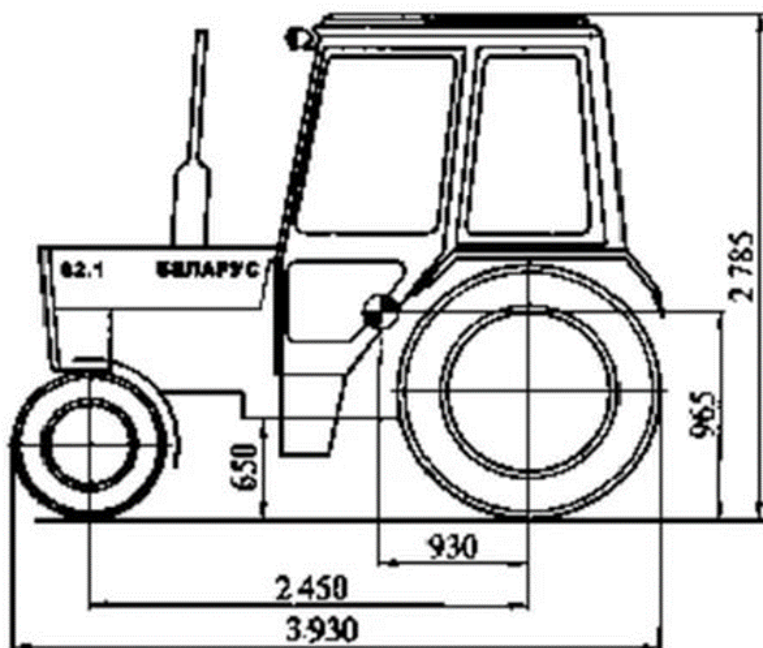


Рисунок 5 - Основные размеры трактора Беларус 82.1

Расчёт продольной устойчивости колёсного трактора представим на примере трактора Беларус 82.1 (рис. 6).

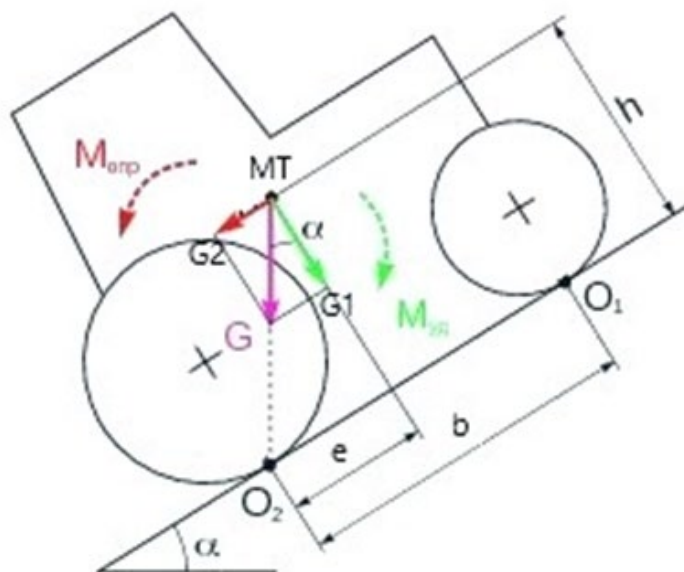


Рисунок 6 - Устойчивость трактора

$M_{\text{опр}}$ – опрокидывающий момент. $M_{\text{уд}}$ – удерживающий момент.

MT – точка приложения эксплуатационной массы трактора (центр тяжести).

$G_1 = G \cos \alpha$ – вертикальная составляющая эксплуатационной массы трактора.

$G_2 = G \sin \alpha$ – горизонтальная составляющая эксплуатационной массы трактора.

O_1 – точка соприкосновения колёс переднего моста с опорной поверхностью.

O_2 – точка соприкосновения колёс заднего моста с опорной поверхностью.

h – расстояние от опорной поверхности до центра тяжести.

α – угол подъёма.

Показателем статической продольной устойчивости является наибольший угол подъёма (α), при котором трактор будет стоять не опрокидываясь. Уравнение равновесия моментов, влияющих на устойчивость трактора можно выразить через выражение $M_{\text{ОПР}} = M_{\text{УД}}$ или [Кутьков 2004: 56]:

$$Ghsin\alpha = Gecos\alpha \quad (3)$$

Из выражения (3) $tg\alpha = \frac{e}{h}$

где h - расстояние от опорной поверхности до центра тяжести трактора (ЦТ) (приложения МТ).

$tg\alpha = \frac{919}{973} = 0,9445$, это соответствует значению угла α равному $43^{\circ}22'$. По данным², угол $\alpha = 43^{\circ}56'$.

При движении трактора по горизонтальной поверхности будет присутствовать только вертикальная составляющая эксплуатационной массы трактора (G_1), горизонтальная составляющая (G_2) появится при возникновении нагрузки на крюке. Величина этой нагрузки будет определять направление вектора G , чрезмерная нагрузка также будет влиять на опрокидывающий момент, поэтому очень важно учитывать тяговое сопротивление при работе на полях с неровной поверхностью, т.е. с подъёмами и уклонами.

Для сравнения продольной устойчивости зарубежных тракторов и тракторов Беларус предлагаем ввести коэффициент k , учитывающий наличие масс, находящихся выше центра заднего моста, для расчёта расстояние от опорной поверхности до центра тяжести трактора (ЦТ). За основу взять расчётные данные и данные по трактору Беларус 82.1³.

² Трактор МТЗ-82: характеристики и схемы. [Электронный ресурс] URL: <https://garden-shop.ru/traktor-belarus-82-ustrojstvo-chertezhi-i-video.html> (Дата обращения 23.01.2022).

³ Там же

$$k = \frac{h}{l} \quad (4)$$

где l - расстояние от опорной поверхности до центра ЗМ.

По расчётным данным $k = \frac{973}{788} = 1,23$, по данным [Трактор МТЗ-82: характеристики и схемы. [Электронный ресурс] (Дата обращения 23.01.2022)],

$k = \frac{965}{788} = 1,22$. То есть для сравнения продольной устойчивости зарубежных тракторов и тракторов Беларус можно использовать коэффициент $k = 1,22-1,23$.

Расчёты предельного угла статической устойчивости произведём на примере тракторов Беларус 1523 и Massey Ferguson 7615.

Беларус 1523 [Иовлев, Несговоров, Зорков 2020: 56.]. $h = kl = 1,225 \times 780 = 955$ мм. $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1035}{955} = 1,0838$, это соответствует значению угла α равному $47^{\circ}18'$.

Massey Ferguson 7615 [Голдина, Несговоров 2019: 120].

$h = kl = 1,225 \times 873 = 1069$ мм. $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1080}{1069} = 1,0103$, это соответствует значению угла α равному $45^{\circ}17'$.

По представленным расчётам можно сделать вывод о том, что трактор Беларус 1523 более устойчив. Результаты расчётов по другим тракторам представим в табл. 6.

Таблица 6 - Предельные углы продольной устойчивости тракторов.

Марка трактора	Показатели		
	Горизонтальная составляющая ЦТ	Вертикальная составляющая ЦТ	Предельный угол
Беларус 82.1.	919	973	$43^{\circ}22'$
Case Farmal 80JX	828	873	$43^{\circ}29'$
Беларус 1025	964	1019	$43^{\circ}25'$
Doutz-Fahr Agrottron 105	992	1029	$43^{\circ}57'$
Беларус 1221	1035	1072	44°
Case Maxxum 130	904	1072	$40^{\circ}6'$
Беларус 1523	1035	955	$47^{\circ}18'$
Massey Ferguson 7615	1080	1069	$45^{\circ}17'$
Беларус 2022	1095	1164	$43^{\circ}15'$
Case Puma 210	1052	1053	$44^{\circ}58'$
Беларус 3022	1129	1164	$44^{\circ}7'$
Fendt Vario 930	1144	1200	$43^{\circ}38'$

Беларус 3522	1125	1262	41°43'
John Deer 8345R	1155	1286	41°56'

Из рассчитанных и представленных в табл. 6 данных видно, что тракторы всех тяговых классов имеют практически одинаковые предельные углы подъёма от 40° до 47°18'. Из представленных тракторов 57% имеют предельный угол подъёма около 44°, наибольший предельный угол продольной устойчивости у трактора Беларус 1523, наименьший у Case Maxxim 130. Это говорит о том, что при расчётах, при конструировании, независимо от тягового класса, мощности двигателя подбираются такие колёсные базы, компоновка, размер шин, которые обеспечивают практически одинаковые показатели продольной устойчивости тракторов. Необходимо также отметить, что во многих исследованиях, учебниках и учебных пособиях, в т.ч. и [Кутьков 2004: 57] приводятся предельные углы продольной устойчивости в пределах 35-40°. На наш взгляд, эти данные соответствуют компоновочной схеме 4К2 и ранней классической схеме 4К4 (Т-40АМ, МТЗ-52, первым моделям МТЗ-82). При дальнейшем развитии конструкции трактора, при увеличении энергонасыщенности, мощности двигателя, массы трактора [Иовлев, Голдина 2020: 52], появлении передних ведущих мостов балочного типа, предельные углы продольной устойчивости увеличились до 43°-47°, о чём свидетельствуют наши исследования, проведённые для отечественных и зарубежных тракторов компоновочной схемы 4К4а.

Выводы. В процессе исследования с использованием предложенного индекса продольной устойчивости, определены показатели устойчивости тракторов отечественного и зарубежного производства равных по эксплуатационным свойствам (Беларус 82.1. и Case Farmal 80JX, Беларус 1025 и Doutz-Fahr Agrottron 105 и т.д.). В разных тяговых классах (разных диапазонах мощности двигателя) разные результаты по продольной устойчивости – показатели продольной устойчивости трактора Беларус 82.1. превышают показатели трактора Case Farmal 80JX; трактора Doutz-Fahr Agrottron 105

превышают показатели Беларус 1025; трактора John Deer 8345R превышают показатели Беларус 3522 и т.д.

Важное значение для продольной устойчивости, имеет расстояние от опорной поверхности до центра задней оси трактора. Из представленного анализа тракторов выявлено следующее:

- для тракторов Case Farmall расстояние от опорной поверхности до центра ЗМ от 692 мм до 766 мм;
- для Doutz-Fahr Agrotron от 820 мм до 925 мм;
- для Case Puma от 800 мм до 860 мм;
- для Case Magnum 890 мм.

Для определения и сравнения показателей продольной устойчивости необходимо учитывать наличие масс, находящихся выше центра заднего моста. С этой целью, предложен корректировочный коэффициент для определения фактического расстояния от опорной поверхности до центра тяжести трактора. Данный коэффициент рассчитан на основе данных по трактору Беларус 82.1. Из рассчитанных и представленных данных видно, что тракторы всех тяговых классов имеют практически одинаковые предельные углы подъёма от 40° до $47^\circ 18'$. Это говорит о том, что при расчётах, при конструировании, независимо от тягового класса, мощности двигателя подбираются такие колёсные базы, компоновка, размер шин, которые обеспечивают практически одинаковые показатели продольной устойчивости тракторов.

Список литературы

Голдина И.И., Несговоров А.Г. Анализ и сравнение эксплуатационные свойства тракторов Беларус и тракторов ведущих зарубежных фирм// Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2019. № 3 (3). С. 113-123.

Журавлёв С.Ю. Улучшение эксплуатационных свойств колёсных 4К4 сельскохозяйственных тракторов// Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (84). С. 127-132.

Иовлев Г. А., Несговоров А. Г., Зорков В. С. и др. Оценка эксплуатационных свойств зарубежных сельскохозяйственных тракторов: рекомендации для студентов и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по механическим, технологическим и конструкторским специальностям, специалистам инженерно-технических служб эксплуатационных предприятий. Екатеринбург: издательство Уральского ГАУ, 2020. 192 с.

Иовлев Г.А. Реализация эксплуатационных свойств зарубежными сельскохозяйственными тракторами// Теория и практика мировой науки. 2019. № 6. С. 16-22.

Иовлев Г.А., Голдина И.И. Зарубежные сельскохозяйственные тракторы и их эксплуатационные свойства// Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (62). С. 48-56.

Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолоСС, 2004. 504 с.

Рецензент: А. А. Садов, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург