

# СРАВНЕНИЕ ТЯГОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГУСЕНИЧНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

к.т.н. Щельцын Н.А.<sup>1</sup>, к.т.н. Бейненсон В.Д.<sup>1</sup>, к.т.н. Федоткин Р.С.<sup>2</sup>, к.т.н. Крючков В.А.<sup>2</sup>,  
к.т.н. Белый И.Ф.<sup>3</sup>, к.т.н. Ревенко В.Ю.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ОАО «НИИ стали», Москва, Россия,

<sup>2</sup>ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия,

<sup>3</sup>ФГБУ «Северо-Кавказская МИС», Зерноград, Россия,

<sup>4</sup>ГНУ СКС Краснодарского НИИСХ Россельхозакадемии, Армавир, Россия,

frs89@bk.ru

*Приведены результаты испытаний гусениц различных типов на тракторе ВТ-150 по оценке тяговых показателей, а также уплотняющего воздействия на почву. Установлено, что трактор ВТ-150 с РАГ в зоне номинальных тяговых усилий 36...45 кН для тракторов класса 3 развивает максимальную тяговую мощность 90,5 кВт при скорости движения 8,1 км/ч, тяговом усилии 40,2 кН и буксовании 5,1%, что находится на уровне соответствующих показателей трактора с МГ с ОМШ. Оценка параметров воздействия движителей с различными типами гусениц на почву проведена на Северо-кавказской опытной станции Краснодарского НИИ сельского хозяйства Россельхозакадемии РФ в крытом песчаном канале. В результате установлено, что РАГ обеспечивают работу трактора при влажности почвы до 0,7 НВ в весенний период и до 0,9 НВ – в летне-осенний. Анализ результатов испытаний трактора ВТ-150 с различными конструкциями гусениц показал, что применение РАГ на машине обеспечивает: равенство тяговых показателей, в том числе КПД, машины на РАГ и на МГ с ОМШ в зоне номинальных тяговых усилий для тракторов класса 3; возможность выхода машины в поле в условиях повышенной влажности; возможность движения машины по дорогам с твердым и усовершенствованным покрытиями без их разрушения в сравнении с МГ с ОМШ. Показано, что гусеницы с РМШ имеют преимущества по долговечности по сравнению с МГ с ОМШ как на тракторах, так и на комбайнах.*

**Ключевые слова:** сельскохозяйственный трактор, резиноармированная гусеница, серийная металлическая гусеница с открытым металлическим шарниром, тяговые испытания, долговечность, уплотняющее воздействие на почву, результаты испытаний.

## **Введение**

В настоящее время большинство производителей тракторов и комбайнов как в РФ, так и за рубежом, а также военных гусеничных машин ведут опытные разработки и серийный выпуск движителей с резиноармированными гусеницами (РАГ). Их применение позволяет в сравнении с колесной техникой снизить вредное воздействие на почву, повысить тяговые характеристики, проходимость и экономичность машин, а также обеспечить эффективную работу на тяжелых, переувлажненных и слабонесущих почвах.

По сравнению с движителями на гусеницах с металлическими шарнирами и звеньями применение РАГ обеспечивает [1, 2]:

- движение по дорогам с асфальтовым покрытием без его разрушения;

- повышение транспортных скоростей машины до 40...50 км/ч;
- снижение уровня шума и улучшение условий труда оператора;
- повышение надежности.

За рубежом сравнение тяговых показателей тракторов с колесным и гусеничным движителем с РАГ выполняется на специально подготовленной опорной поверхности в виде резинового полотна [3]. Использование такого полотна не позволяет сравнить тяговые показатели тракторов с металлическими гусеницами и РАГ.

Методы конструирования и расчета РАГ подробно рассмотрены в работах [4–6]. Однако в них недостаточно внимания уделено тяговым показателям и долговечности РАГ.

### Цель исследования

Целью исследования является сравнительная оценка тяговых показателей и долговечности гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов с различными типами гусениц.

### Оценка тяговых показателей тракторов с различными типами гусениц

В качестве объекта исследования выбраны серийная металлическая гусеница с открытым металлическим шарниром (МГ с ОМШ) и РАГ с металлотросовым армирующим сердечником.

Оценка тяговых показателей проводилась на тракторе ВТ-150 (рис. 1).

РАГ разработана ОАО «НИИ стали» совместно с ОАО «ЦНИИСМ» и ООО «НТЦ НИИШП».

Для сравнительной оценки эффективности применения гусениц различных конструкций была разработана программа-методика испытаний.

Для повышения объективности оценки результатов испытаний в программе было предусмотрено проведение всего комплекса испытаний на одной машине, в одинаковых почвенно-климатических условиях, с применением единого комплекса контрольно-измерительной аппаратуры, с привлечением единого состава квалифицированных испытателей.

Задачами испытаний, предусмотренных программой-методикой, являлись:

- определение тяговых показателей трактора в соответствии с требованиями

ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей» [7, 8];

- определение параметров воздействия движителей на почву в соответствии с требованиями ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву» [9].

Испытания сравниваемых конструкций гусениц проводились Северо-Кавказской МИС и Северокавказской опытной станции Краснодарского НИИ сельского хозяйства Россельхозакадемии РФ.

Тяговые испытания трактора ВТ-150 с различными типами гусениц проводились на стерневом фоне по ГОСТ 30745 с помощью тяговой лаборатории ТДТ-60 и измерительной информационной системы ИП-256М. Измерения расхода топлива осуществлялись с помощью расходомера ЕДМ-1404.

Почвенно-климатические условия при проведении тяговых испытаний трактора ВТ-150 приведены в табл. 1, а тяговые характеристики трактора с различными типами гусениц на рис. 2 и рис. 3.

На основе результатов испытаний установлено, что трактор ВТ-150 с МГ с ОМШ относится к классу 4 (по весу) с максимальной тяговой мощностью 92,7 кВт, развиваемой при работе на 2 передаче со скоростью движения 7,3 км/ч, тяговым усилием 45,2 кН, условным тяговым КПД 0,801 и удельным расходом топлива 251 г/(кВт·ч).



а)



б)

Рис. 1. Трактор ВТ-150 с различными типами гусениц:  
а – МГ с ОМШ; б – РАГ

Таблица 1

Почвенно-климатические условия при тяговых испытаниях трактора

Показатель	Тип гусениц	
	МГ с ОМШ	РАГ
Тип почвенного фона	стерня озимой пшеницы	стерня озимой пшеницы
Влажность в слое 0...15 см, %	9,4...13,5	18,2...21,3
Твердость в слое 0...15 см, МПа	1,18...3,66	1,14...2,41
Высота стерни, см	13,6	14,1
Температура воздуха, °С	23	25
Относительная влажность, %	70	80
Давление, кПа	100	101

Трактор ВТ-150 с РАГ относится к тракторам тягового класса 4 (по весу) с максимальной тяговой мощностью 90,5 кВт, развиваемой при работе на 3 передаче со скоростью движения 8,1 км/ч, тяговым усилием 40,2 кН, условным тяговым КПД 0,791 и удельным расходом топлива 257 г/(кВт·ч).

В зоне номинальных тяговых усилий (36...45 кН) для тракторов класса 4 различие в тяговых мощностях незначительное и составляет 0,7...1,3 %. Снижение величин тяговых усилий при максимальных тяговых мощностях в сравнении с МГ с ОМШ составляет для РАГ 0,5 кН.

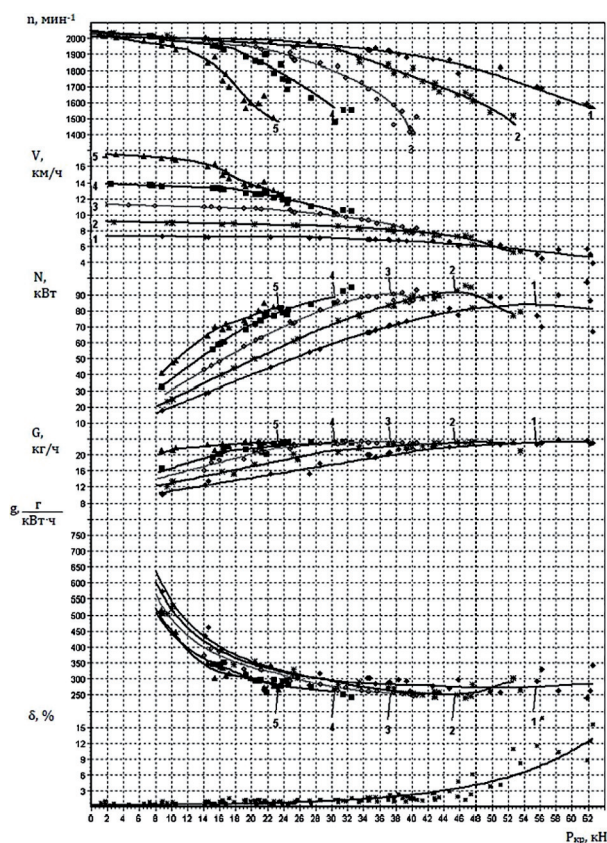


Рис. 2. Тяговая характеристика трактора ВТ-150 на стерне озимой пшеницы при комплектации МГ с ОМШ:  $n$  – частота вращения вала двигателя;  $V$  – скорость трактора;  $N$  – мощность на крюке;  $G$  – часовой расход топлива;  $g$  – удельный расход топлива;  $\delta$  – буксование движителя; 1–5 – включаемые передачи

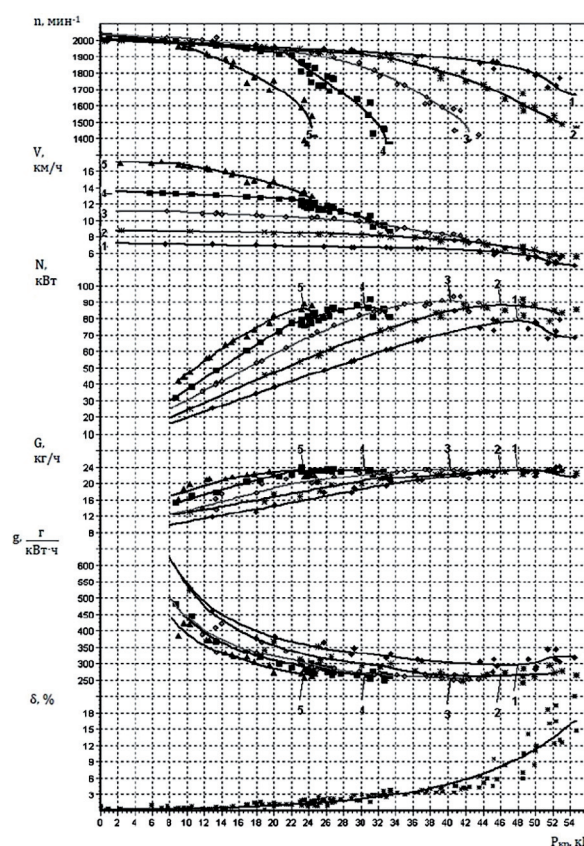


Рис. 3. Тяговая характеристика трактора ВТ-150 на стерне озимой пшеницы при комплектации РАГ:  $n$  – частота вращения вала двигателя;  $V$  – скорость трактора;  $N$  – мощность на крюке;  $G$  – часовой расход топлива;  $g$  – удельный расход топлива;  $\delta$  – буксование движителя; 1–5 – включаемые передачи

Топливная экономичность трактора при работе в режиме максимальных тяговых мощностей, при тяговом усилии порядка 30 кН, практически одинакова для всех типов гусениц. При тяговых усилиях порядка 40...50 кН у трактора с РАГ установлено увеличение удельного расхода топлива на 10...35 г/(кВт·ч).

При работе трактора на 2 передаче (основная передача для выполнения пахотных работ) с тяговым усилием до 45 кН и работе двигателя при рекомендуемой частоте вращения коленчатого вала 1700...1900 мин<sup>-1</sup> топливная экономичность трактора с РАГ в сравнении с МГ с ОМШ ухудшается на 21,5%, так как удельный расход топлива увеличивается на 54 г/(кВт·ч). Указанное увеличение удельного расхода топлива трактора с РАГ в диапазоне тяговых усилий выше номинального обусловлено проведением тяговых испытаний в условиях повышенной влажности почвы (практически в 2 раза выше, чем при испытаниях трактора с МГ с ОМШ).

Как показывают результаты ранее проведенных тяговых испытаний трактора Т-250 с гусеницами с РМШ и опытными РАГ на стерне колосовых при одинаковой влажности почвы (8,90...9,45 %) трактор с РАГ имеет высокие тяговые показатели, сопоставимые с аналогичными показателями для трактора с гусеницами с РМШ. Так, значения удельной силы тяги на крюке и буксования для трактора Т-250 с РАГ составляют соответственно  $\varphi_{кр} = 0,210...0,706$  и буксовании движителя  $\delta = 0,26...6,96\%$ , а для трактора Т-250 с РМШ  $\varphi_{кр} = 0,179...0,690$  и  $\delta = 0,077...6,83\%$ .

Сравнение тяговых показателей трактора с различными типами гусениц наиболее корректно проводить при работе в режиме номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя (или в указанном диапазоне частот вращения) в диапазоне тяговых усилий, соответствующих классу тяги трактора.

Таким образом, трактор ВТ-150 с РАГ в зоне номинальных тяговых усилий 36...45 кН для тракторов класса 3 развивает максимальную тяговую мощность 90,5 кВт при скорости движения 8,1 км/ч, тяговом усилии 40,2 кН и

буксовании 5,1%, что находится на уровне соответствующих показателей трактора с МГ с ОМШ.

### **Оценка параметров воздействия движителей тракторов на почву с различными типами гусениц**

Оценка параметров воздействия движителей с различными типами гусениц на почву проведена на Северокавказской опытной станции Краснодарского НИИ сельского хозяйства Россельхозакадемии РФ в крытом песчаном канале.

Установлено, что РАГ обеспечивают работу трактора при влажности почвы до 0,7 НВ в весенний период и до 0,9 НВ в летне-осенний.

Основные характеристики трактора ВТ-150 с различными типами гусениц, а также результаты проведенных испытаний приведены в табл. 2.

Анализ результатов испытаний трактора ВТ-150 с различными конструкциями гусениц показал, что применение РАГ на машине обеспечивает:

- равенство тяговых показателей, в том числе КПД машины на РАГ и на МГ с ОМШ в зоне номинальных тяговых усилий для тракторов класса 3;
- возможность выхода машины в поле в условиях повышенной влажности;
- возможность движения машины по дорогам с твердым и усовершенствованным покрытиями без их разрушения в сравнении с МГ с ОМШ.

Оценка долговечности различных типов гусениц, применяемых в конструкциях тракторов и сельскохозяйственных машин

Результаты оценки долговечности МГ с ОМШ и РАГ трактора ВТ-150 приведены в табл. 2. При этом РАГ имеет преимущества по долговечности в сравнении с МГ с ОМШ.

Результаты анализа долговечности различных типов гусениц на тракторах и комбайне Енисей-1200Р приведены в табл. 3 и 4.

Из анализа результатов, представленных в табл. 3 и 4 следует, что гусеницы с РМШ имеют преимущества по долговечности по сравнению с МГ с ОМШ.

Таблица 2

## Техническая характеристика трактора ВТ-150 с различными типами гусениц

Показатель	Значение	
	МГ с ОМШ	РАГ
Масса машины эксплуатационная с балластом, кг	8265	8238
Распределение массы по бортам машины (левый/правый), кг	4200/4065	4205/4033
Число траков, шт	44	61
Шаг гусеницы, мм	170	126
Ширина гусеницы, мм	470	470
Масса комплекта гусениц, кг	1138	1111
Максимальное давление на почву (ГОСТ 26955-86), кПа	150,07 допускается работа при влажности 0,6 НВ в весенний и летний период	102,78 обеспечивает работу при влажности 0,7 НВ в весенний и при НВ свыше 0,9 в летний период
Среднее давление на почву (ГОСТ 26955-86), кПа	52,42	46,14
Максимальное нормальное напряжение в почве $\sigma_n$ на глубине 0,5 м (ГОСТ 26955-86), кПа	22,93 соответствует нормативу	23,67 соответствует нормативу
Возможность движения по дорогам с искусственным покрытием	не допускается	допускается
Долговечность, моточасы	1000...3000 с замной 2–3 комплектов пальцев	2500...3000 без ремонта (на основании испытаний РАГ фирмы Бриджестоун)
Возможность реализации тягового усилия в условиях повышенной влажности при промокании почвы	–	сохраняется способность реализации тягового усилия в рабочем режиме
Габаритные размеры машины (ширина и высота), мм	1790 3090	1790 3090

Таблица 3

## Долговечность гусениц сельскохозяйственных тракторов ДТ-175С, Т-150 класса 3–4

№	Вид почвы	Кол-во пахотной земли в %	Долговечность гусениц, моточасы			
			Серийных с открытым шарниром (звенья из стали 110Г13Л пальцы из стали 50)			Резиноармированные гусеницы фирмы Бриджестоун (Япония)
			Звенья	пальцы	Ведущие колеса	
1	Тяжелосуглинистая	5	3600	1800	3600	2800...3500* независимо от почвенных условий*
2	Среднесуглинистая	63	2000	1000	2000	
3	Легкосуглинистая	21	1200	600	1200	
4	Супесчаная	11	750	375	750	
Средневзвешенное значение			1880	940	1880	

\* - с перестановкой ведущих колес с борта на борт (с поворотом)

Таблица 4

Долговечность гусениц сельскохозяйственных тракторов Т-250 (Т-404), НАТИ-04 (ЧН-6) класса 5–6 и комбайнов Енисей-1200Р

№	Вид почвы	Кол-во пахотной земли, %	Долговечность гусениц, моточасы					
			Серийных с открытым шарниром (звенья из стали 35ГТРЛ, пальцы из стали 50)			Тракторы Т-250, НАТИ-04 (ЧН-6) класса 5-6	Комбайнов Енисей-1200Р	Тракторы Джон Дир, Катерпиллар
			Звенья	пальцы	Ведущие колеса			
1	Тяжелосуглинистая	5	4000	2000	4000	2500...3000	3000 (18000 км пробега)	4500...5000** независимо от почвенных условий
2	Среднесуглинистая	63	2500	1250	2500	гусеницы фирмы Бриджестоун (Япония)		
3	Легкосуглинистая	21	1500	750	1500			
4	Супесчаная	11	1000	500	1000			
Средневзвешенное значение			2250	1125	2250			

\*\* - с перестановкой ведущих колес с борта на борт (с поворотом) ресурс ведущих колес достигает 7000...8000 моточасов

**Выводы**

1. Разработанные отечественные конструкции и технологии изготовления РАГ для сельскохозяйственных машин обеспечивают равенство тяговых показателей трактора с серийной МГ с ОМШ и РАГ в зоне номинальных тяговых усилий для тракторов класса 3.

2. Отечественные образцы РАГ и их зарубежные аналоги имеют преимущества по долговечности по сравнению с МГ с ОМШ.

**Литература**

1. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
2. Шарипов В.М., Дмитриева Л.А., Сергеев А.И., Шевелев А.С., Щетинин Ю.С. Проектирование ходовых систем тракторов. М.: МГТУ «МАМИ», 2006. 82 с.
3. Городецкий К.И., Шарипов В.М., Каргальский А.А., Корольков Е.Ю. Тяговые характеристики тракторов с резиновыми гусеницами // Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. С. 49–51.
4. Федоткин Р.С. Расчетно-экспериментальные методы оценки нагруженности и долговечности резиноармированных гусениц сельскохозяйственных тракторов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 204 с.
5. Федоткин Р.С., Бейненсон В.Д., Крючков В.А., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С. Исследование жесткости резиноармированных гусениц сельскохозяйственных тракторов при растяжении и изгибе // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 12. С. 9–14.

6. Федоткин Р.С., Крючков В.А., Бейненсон В.Д., Парфенов В.Л. Методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 3. С. 24–32.
7. ГОСТ 30745-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. М.: Изд-во стандартов, 2002. 11 с.
8. Купрюнин Д.Г., Щельцын Н.А., Бейненсон В.Д., Федоткин Р.С., Белый И.Ф., Ревенко В.Ю. Экспериментальное исследование сравнительных показателей гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов // Известия МГТУ «МАМИ». 2016. № 3(29). С. 16–24.
9. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.

**References**

1. Sharipov V.M. *Konstruirovaniye i raschet traktorov* [Design and calculation of tractors]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2009. 752 p.
2. Sharipov V.M., Dmitrieva L.A., Sergeev A.I., Shevelev A.S., Shchetinin Yu.S. *Proektirovaniye khodovykh sistem traktorov* [Design of tractor suspension]. Moscow: MG TU «MAMI» Publ., 2006. 82 p.
3. Gorodetskiy K.I., Sharipov V.M., Kargal'skiy A.A., Korol'kov E.Yu. Traction characteristics of tractors with rubber caterpillars. *Sbornik materialov V Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy i dostizheniya avtotransportnogo kompleksa»* [Collected materials of the V All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems and Achievements of the Motor Transport Complex"].

- Ekaterinburg: UGTU-UPI Publ., 2007, pp. 49–51 (in Russ.).
4. Fedotkin R.S. *Raschetno-eksperimental'nye metody otsenki nagruzhennosti i dolgovechnosti rezinoarmirovannykh gusenits sel'skokhozyaystvennykh traktorov*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Calculation-experimental methods for estimating the loading and longevity of rubber-reinforced caterpillars of agricultural tractors: Dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2015. 204 p.
  5. Fedotkin R.S., Beynenson V.D., Kryuchkov V.A., Sharipov V.M., Shchetinin Yu.S. Investigation of the rigidity of rubber-reinforced caterpillars of agricultural tractors under tension and bending. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2015. No 12, pp. 9–14 (in Russ.).
  6. Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Beynenson V.D., Parfenov V.L. Technique of designing driving wheels for forging engagement with rubber-reinforced caterpillars of traction and transport vehicles. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. No 3, pp. 24–32 (in Russ.).
  7. *GOST 30745-2001*. Tractors, agricultural. Determination of traction indicators. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2002. 11 p.
  8. Kupryunin D.G., Shchel'tsyn N.A., Beynenson V.D., Fedotkin R.S., Belyy I.F., Revenko V.Yu. Experimental study of comparative indicators of caterpillar driving machines of agricultural tractors. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2016. No 3(29), pp. 16–24 (in Russ.).
  9. *GOST 26955-86*. Agricultural mobile vehicles. Norms of impact of propulsors on soil. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1986. 7 p.

## COMPARISON OF TRACTION AND LONGEVITY OF CATERPILLAR DRIVING MACHINES OF AGRICULTURAL TRACTORS

Ph.D. N.A. Shchel'tsyn<sup>1</sup>, Ph.D. V.D. Beynenson<sup>1</sup>, Ph.D. R.S. Fedotkin<sup>2</sup>, Ph.D. V.A. Kryuchkov<sup>2</sup>, Ph.D. I.F. Belyy<sup>3</sup>,  
Ph.D. V.Yu. Revenko<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Scientific and research institute "NII Stali", Moscow, Russia,

<sup>2</sup>Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow, Russia,

<sup>3</sup>North-Caucasian State Zonal Machine Testing Station, Zernograd, Russia,

<sup>4</sup>State Scientific Institution North Caucasus Experimental Station of the Krasnodar Research Institute of Agriculture of the Russian Agricultural Academy, Armavir, Russia, frs89@bk.ru

*The results of tests of various types of caterpillars on the tractor VT-150 on the evaluation of traction indicators, as well as sealing effect on the soil are presented. It is established that the tractor BT-150 with rubber-reinforced caterpillars in the zone of nominal traction effort of 36 ... 45 kN for tractors of class 3 develops the maximum traction power of 90.5 kW at a speed of 8.1 km / h, tractive effort of 40.2 kN and slipping 5, 1%, which is at the level of the corresponding indicators of the tractor with metal caterpillars with open metal joint. An assessment of the parameters of the effect of propulsors with different types of caterpillars on soil was carried out at the North Caucasus Experimental Station of the Krasnodar Research Institute of Agriculture of the Russian Agricultural Academy of the Russian Federation in an indoor sand channel. As a result, it is established that rubber-reinforced caterpillars ensure the operation of the tractor with soil moisture up to 0.7 HB in the spring period and up to 0.9 HB in the summer-autumn period. The analysis of the test results of the VT-150 tractor with various caterpillar designs showed that the use of rubber-reinforced caterpillars on the machine ensures: equality of traction parameters, including efficiency, machines on rubber-reinforced caterpillars and on metal caterpillars with open metal joint in the zone of nominal tractive effort for tractors of Class 3; the possibility of the machine working the field in conditions of high humidity; the ability of the machine to travel on roads with hard and advanced coatings without destroying them in comparison with metal caterpillars with open metal joint. It is shown that caterpillars with rubber-reinforced caterpillars have advantages in durability in comparison with metal caterpillars with open metal joint both on tractors and on combines.*

**Keywords:** agricultural tractor, rubber-reinforced caterpillar, serial metal caterpillar with an open metal joint, traction tests, durability, compacting effect on the soil, test results.