

УДК 631.17

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРАКТОРОВ К-424 И Т-150К НА ВСПАШКЕ

С.Н. Мардарьев, П.В. Мишин

Чувашская государственная сельскохозяйственная академия  
428003, Чебоксары, Российская Федерация

**Аннотация.** Отвальная вспашка почвы по-прежнему остается самым энергоемким и трудоемким процессом в земледелии. При обработке почвы с помощью плуга для отвальной вспашки расходуется до 30 % топлива от общего количества, затрачиваемого на весь комплекс работ по выращиванию и уборке сельскохозяйственных культур. При вспашке обычно используются самые мощные тракторы, имеющиеся в хозяйствах. В этой статье речь идет о тракторах третьего тягового класса К-424 и Т-150 К. Трактор Т-150 К наиболее распространен на всей территории России и ближнего зарубежья в отличие от своего «одноклассника» К-424, дебютировавшего в 2017 г. Этому трактору суждено занять перспективную нишу на рынке агротехники и повторить успех легендарного трактора Т-150 К, который выпускался более сорока лет. С точки зрения использования данные трактора весьма приспособлены к энергоемким процессам, так как, обладая широкими возможностями, они способны работать с плугами для отвальной вспашки в любых меняющихся условиях функционирования. В работе предложен метод расчета оптимальных параметров пахотных агрегатов и даны их потенциально-эксплуатационные характеристики, которые представляют из себя 3D график, характеризующий отношения между величиной твердости почвы  $T_B$ , шириной захвата  $B_K$ , скоростью движения  $V_m$ , теоретической производительностью  $W$  и удельным расходом топлива  $q$ , с помощью специально разработанной авторами программы для ЭВМ «Оптимизация параметров и режимов работы почвообрабатывающих агрегатов». Также в статье представлены оптимальные параметры работы вышеуказанных тракторов с серийно выпускаемыми плугами.

**Ключевые слова:** твердость почвы, модель функционирования МТА, потенциально-эксплуатационная характеристика, производительность, удельный расход топлива.

**Введение.** Обработка почвы – один из важнейших технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур, самая энергоемкая и трудоемкая операция из всего комплекса работ в растениеводстве. При вспашке почвы расходуется до 30 % топлива от общего числа затрат [4].

В настоящее время в отрасли сельского хозяйства из года в год появляется большое количество новых научно-технических разработок, особенно в области механизации растениеводства. Для вспашки почвы созданы и освоены почвообрабатывающие машины, в том числе семейство плугов для отвальной вспашки, а также энергонасыщенные тракторы.

При вспашке используются тракторы, самые мощные из имеющихся на предприятии, но наибольшую долю машинно-тракторных парков составляют тракторы 3 тягового класса, в частности марки Т-150 К. Высокопроизводительный сельскохозяйственный трактор Т-150 К весьма компактный, маневренный и динамичный. Данный трактор пользуется спросом у товаропроизводителей за хорошую ремонтпригодность, доступность запчастей и удобное сервисное обслуживание. Однако начиная с 2016 г. у Харьковского тракторного завода появились затруднения по сбыту техники в Россию из-за санкций, начались простои. Освободившуюся нишу занял Кировский тракторный завод, раньше занимавшийся выпуском тракторов 5 тягового класса. Так, в августе 2017 г. был запущен в серийное производство трактор К-424.

Высокопроизводительный трактор К-424 «Кирюша» весьма компактный, маневренный и динамичный. Он занимает перспективную нишу на рынке агротехники и призван повторить успех легендарного трактора Т-150 К, который выпускался во времена СССР. Так, рассматриваемая модель, несмотря на свои компактные габариты, может использоваться и в сельском, и лесном хозяйстве. Техника востребована у крупных землевладельцев и агрохолдингов. К-424 «Кирюша» пользуется большим спросом у государственных заказчиков и частных коммерческих структур.

В этой статье мы сравниваем оптимальные параметры работы этих двух тракторов во время вспашки.

**Материалы и методы исследований.** Изменения оптимальных параметров работы пахотных агрегатов можно представить в виде графиков потенциально-эксплуатационных характеристик, которые представляют собой кривые изменений теоретической производительности  $W$  и удельного расхода топлива  $q$  в зависимости от отдельных параметров и режимов их работы [6, 8].

Теоретическую производительность ( $W$ , га/ч) определили по формуле:

$$W = C_w B_K V_T, \quad (1)$$

где  $C_w$  – коэффициент размерности;  $B_K$  – конструктивная ширина захвата агрегата, м;  $V_T$  – скорость движения агрегата без учета буксования движителей трактора (теоретическая скорость), км/ч.

Теоретическую скорость  $V_T$  определили по формуле:

$$V_T = \frac{V_{PH}}{K_6}, \quad (2)$$

где  $V_{рн}$  – рабочая скорость движения агрегата при номинальном тяговом усилии, км/ч;  $K_б$  – коэффициент буксования движителей трактора.

Наибольшие значения  $W$  можно ожидать при изменении эксплуатационных параметров трактора по их огибающим кривым. Тогда рабочую скорость  $V_{рн}$  можно выразить через номинальное тяговое усилие трактора  $P_{крн}$  по огибающей кривой скорости полиномом второй степени [7]:

$$V_{рн} = a_v P_{крн}^2 + b_v P_{крн} + c_v, \quad (3)$$

где  $a_v$ ,  $b_v$  и  $c_v$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Коэффициент буксования  $K_б$  определяется через тяговое усилие трактора  $P_{крн}$  по значениям буксования движителей трактора в виде уравнения регрессии:

$$K_б = a_б P_{крн}^2 + b_б P_{крн} + c_б, \quad (4)$$

где  $a_б$ ,  $b_б$  и  $c_б$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Подставляя (3) и (4) в (2) получаем:

$$V_T = \frac{a_v P_{крн}^2 + b_v P_{крн} + c_v}{a_б P_{крн}^2 + b_б P_{крн} + c_б}, \quad (5)$$

Удельное сопротивление  $K$  для навесных орудий определяется:

$$K = k_о h (s_о + s_1 V_T) \frac{\eta_{кп}}{\eta_{пл}} + c P_{пл} \lambda f_{тр}, \quad (6)$$

где  $k_о = f(T_в)$  – удельное сопротивление корпуса плуга,  $\text{кН/м}^2$ , зависит от твердости почвы;  $s_о$  и  $s_1$  – коэффициенты, учитывающие зависимость удельного сопротивления плуга от скорости ( $s_1$  –  $\text{с/м}$ );  $h$  – глубина обработки, м;  $\eta_{кп}$  – КПД корпуса плуга;  $\eta_{пл}$  – КПД плуга;  $c$  – доля почвы на корпусах (при  $h=0,22$  м,  $c=1,2$ );  $P_{пл} = f(V_к)$  – вес плуга, приходящийся на единицу конструктивной ширины захвата,  $\text{кН/м}$ ;  $\lambda$  – коэффициент, учитывающий влияние догрузки трактора при работе с навесными плугами на сопротивление передвижению ( $\lambda=0,75$ );  $f_{тр}$  – коэффициент сопротивления перекачивания трактора.

Нами, в результате проведенных экспериментальных исследований на разных типах почв, получена обобщенная зависимость, описывающая изменение удельного сопротивления корпуса плуга  $k_о$  от продольной твердости почвы  $T_{п}$ :

$$k_о = a_{кo} T_{п}^2 + b_{кo} T_{п} + c_{кo}, \quad (7)$$

где  $a_{кo}$ ,  $b_{кo}$  и  $c_{кo}$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Для связи между удельным сопротивлением корпуса плуга  $K_{кп}$  и вертикальной твердостью почвы  $T_в$  необходимо установить зависимость между  $T_в$  и продольной твердостью  $T_{п}$  на разных типах почв. По результатам опытов нами предлагается обобщенная зависимость вида:

$$T_{п} = a_{Tп} T_в + b_{Tп}, \quad (8)$$

где  $a_{Tп}$  и  $b_{Tп}$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Продольная твердость  $T_{п}$  зависит от глубины пахотного слоя  $h$ . Нами, по результатам опытов, установлена зависимость между ними на разных типах почв, которая описывается обобщенной кривой:

$$T_{п} = a_{Tп} h^2 + b_{Tп} h + c_{Tп}, \quad (9)$$

где  $a_{Tп}$ ,  $b_{Tп}$  и  $c_{Tп}$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Задаваясь значением  $P_{крн}$ , определяются теоретическая скорость  $V_T$  и конструктивная ширина захвата  $V_к$ . Удельный расход топлива на единицу теоретической производительности  $q$  равен:

$$q = \frac{G}{W}, \quad (10)$$

где  $G$  – часовой расход топлива при номинальной мощности двигателя трактора,  $\text{кг/га}$ .

**Результаты исследований и их обсуждение.** По вышеуказанным зависимостям (1-11) с помощью специально разработанной программы оптимизации параметров и режимов работы МТА [5, 10] мы определили производительность  $W$  и удельный расход топлива  $q$  тракторов К-424 и Т-150К и построили графики потенциально-эксплуатационных характеристик (ПЭХ) (рисунки 1, 2 и 3). ПЭХ представляют взаимосвязь между твердостью почвы  $T_в$ , шириной захвата  $V_к$ , скоростью движения  $V_T$ , теоретической производительностью  $W$  и удельным расходом топлива  $q$  при  $h=0,22$  м. [9]

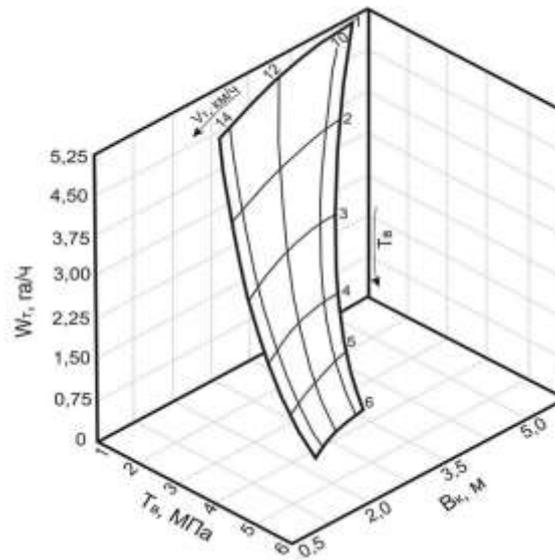


Рис. 1. ПЭХ пахотного агрегата с трактором Т-150 К (часть 1)

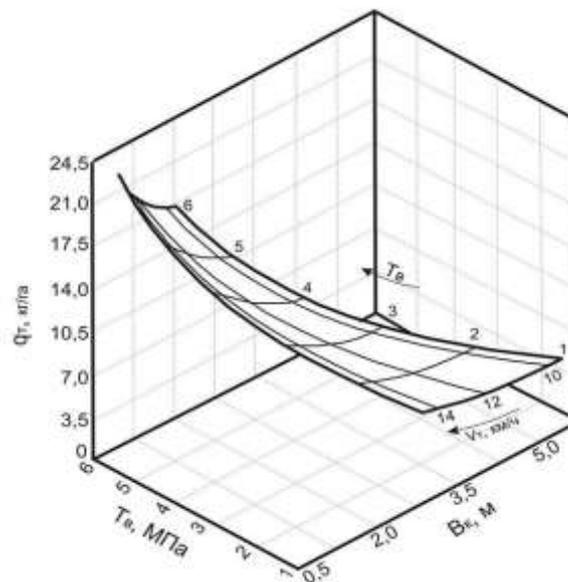


Рис. 2. ПЭХ пахотного агрегата с трактором Т-150 К (часть 2)

На рисунках 1 и 2 представлены данные, свидетельствующие о том, что максимальная производительность  $W$  и минимальный расход топлива  $q$  данного агрегата при любых значениях  $T_B$  достигаются при оптимальной скорости  $V_T = 9,46$  км/ч. При этом оптимальный диапазон ширины  $B_K$  составляет от 1,87 до 5,49 м [1].

Потенциальная эксплуатационная характеристика пахотного агрегата с трактором Т-150 К свидетельствует о том, что по сравнению с другими тракторами 3,0 тягового класса [2] он имеет широкий диапазон изменения ширины захвата  $B_K$ . Ширина захвата  $B_K$  изменяется от 0,5 м до 3,8 м; этим значениям соответствует изменение твердости почвы от 6 МПа до 1 МПа.

Для данной марки трактора промышленность выпускает следующие марки плугов: ПЛН-4-35, ПЛ-5-35, ПЛН-5-35, ПНИ-5-40, ППЛ-6-35 и ППИ-6-40. Параметры работы трактора с этими плугами представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры работы трактора Т-150 К с серийными плугами

Марка плуга	Конструктивная ширина захвата $B_k$ , м	Твердость $T_B$ , МПа	Производительность $W$ , га/ч	Удельный расход топлива $q$ , кг/га	Теоретическая скорость движения $V_T$ , км/ч
ПЛН-4-35	1,40	4	2,07	15,1	14,76
		5	1,85	16,87	13,21
		6	1,65	18,89	11,79
ПЛН-5-35	1,75	3	2,61	11,98	14,88
		4	2,31	13,54	13,17
		5	2,02	15,44	11,55
		6	1,76	17,74	10,05
ПЛ-5-40 ПНИ-5-40	min 1,75	3	2,61	11,98	14,88
		4	2,31	13,54	13,17
		5	2,02	15,44	11,55
		6	1,76	17,74	10,05
	max 2,25	2	3,22	9,34	14,85
		3	2,96	10,59	13,09
		4	2,54	12,89	11,29
		5	2,15	14,55	9,54
ППЛ-6-35	2,10	2	3,22	9,69	15,34
		3	2,86	10,93	13,59
		4	2,48	12,58	11,82
		5	2,12	14,7	10,11
ППИ-6-40	min 1,40	4	2,07	15,1	14,76
		5	1,85	16,87	13,21
		6	1,65	18,89	11,79
	max 2,40	2	3,46	9,03	14,4
		3	3,03	10,31	12,61
		4	2,59	12,06	10,78

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что для трактора Т-150 К плуги с шириной захвата  $B_k$  меньше 2,0 м пригодны для работы на тяжелых почвах, а плуги с изменяемой шириной захвата позволяют работать на всех типах почв.

Потенциальная эксплуатационная характеристика пахотного агрегата на базе трактора К-424 представлена на рисунке 2.

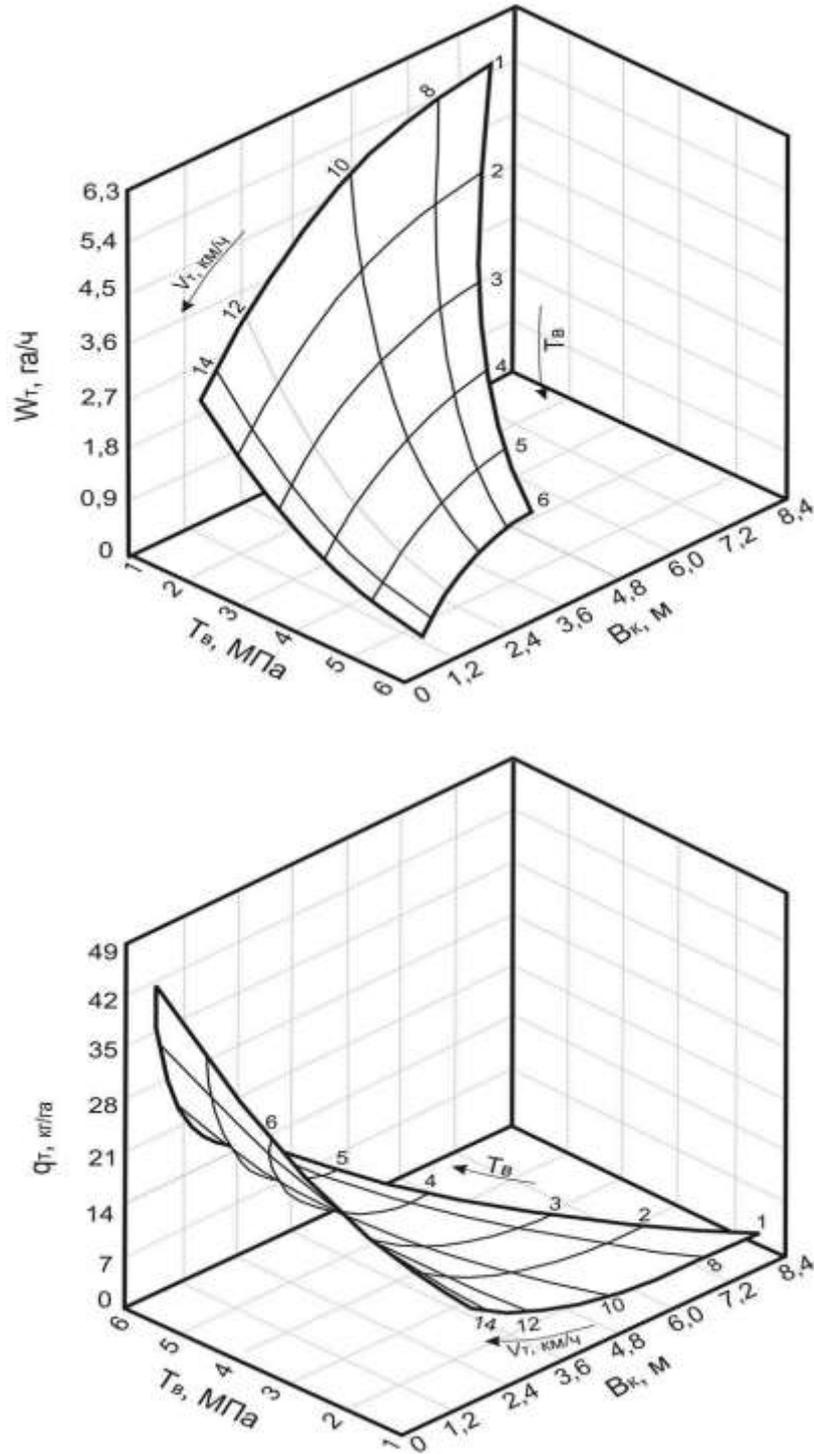


Рис. 3. ПЭХ пахотного агрегата на базе трактора К-424

Потенциальная эксплуатационная характеристика пахотного агрегата с трактором К-424 показывает, что по сравнению с другими тракторами 3,0 тягового класса [3] имеет широкий диапазон изменения ширины захвата  $B_k$ . Ширина захвата  $B_k$  изменяется от 0,51 м до 7,82 м, которым соответствует изменение твердости почвы от 6 МПа до 1 МПа. При этих значениях производительность агрегата составит 0,71 и 5,89 га/ч, а удельный расход топлива – 41,56 и 5,1 кг/га. Максимальная производительность  $W$  и минимальное значение удельного расхода топлива  $q$  достигаются при скорости движения  $V_T=7,22$  км/ч. Параметры работы трактора К-424 с серийными плугами приведены в таблице.

Таблица 2 – Параметры работы трактора К-424 с серийными плугами

Марка плуга	Конструктивная ширина захвата $V_k$ , м	Твердость $T_B$ , МПа	Производительность $W$ , га/ч	Удельный расход топлива $q$ , кг/га	Теоретическая скорость движения $V_T$ , км/ч
ПЛН–4–35	1,40	1	2,17	13,96	14,87
		2	2,08	14,49	14,27
		3	1,97	15,25	13,05
		4	1,85	16,36	11,98
		5	1,72	17,89	11,69
		6	1,59	19,37	10,81
ПЛН–5–35 ПЛ–5–40 ПНИ–5–40	1,75 min 1,75	1	2,58	11,81	14,25
		2	2,46	12,42	13,57
		3	2,32	13,31	12,67
		4	2,13	14,46	11,68
		5	1,95	15,83	10,68
		6	1,79	17,39	9,74
	max 2,25	1	3,09	9,73	13,43
		2	2,92	10,35	12,65
		3	2,69	11,26	11,64
		4	2,45	12,47	10,53
		5	2,18	14,01	9,44
		6	1,97	15,76	8,39
ППЛ–6–35	2,10	1	2,95	10,25	13,57
		2	2,79	10,86	12,92
		3	2,59	11,77	11,93
		4	2,36	13,01	10,86
		5	2,14	14,55	9,79
		6	1,92	16,08	8,78
ППИ–6–40	min 1,40	1	2,17	14,16	14,87
		2	2,08	14,39	14,27
		3	1,97	15,65	12,99
		4	1,85	16,76	11,98
		5	1,72	18,09	11,69
		6	1,55	19,57	10,79
	max 2,40	1	3,25	9,28	13,18
		2	3,05	10,05	12,39
		3	2,79	10,82	11,35
		4	2,53	12,05	10,22
		5	2,26	13,56	9,09
		6	1,98	15,39	7,98

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что трактор К-424 может работать с плугами в диапазоне изменения твердости почвы  $T_B$  от 1 до 6 МПа. Из всех рассматриваемых марок плугов наиболее оптимальные параметры пахотного агрегата в составе К-424 имеют плуги с изменяемой шириной захвата. Так, с этими орудиями агрегат достигнет максимальной производительности до 3,25 га/ч при минимальном удельном расходе топлива, равного 9,28 кг/га при твердости почвы 1 МПа, и, соответственно, при твердости почвы 6 МПа максимальная производительность агрегата будет равняться 1,98 га/ч при минимальном расходе топлива 15,39 кг/га.

#### **Выводы.**

Сравнивая показатели работы тракторов Т-150 К и К-424 во время вспашки можно сделать вывод, что новый трактор К-424 вобрал в себя самые лучшие технические данные легендарного трактора Т-150 К, расширились возможности его применения за счет использования полноприводной трансмиссии и автоматической шестиступенчатой коробки передач с блокировкой гидротрансформатора.

#### **Литература**

1. Мардарьев, С. Н. Использование трактора ХТЗ-17221 на пахотных работах в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия / С. Н. Мардарьев, Т. В. Шаронова // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 2. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st\\_237.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_237.doc).
2. Мардарьев, С. Н. Модель функционирования машинно-тракторного агрегата и программы для расчета его оценочных показателей / С. Н. Мардарьев, А. Н. Михайлов, П. К. Петров // АгроЭкоИнфо. – 2017. – № 2 (28). – С. 12.
3. Мардарьев, С. Н. Основные параметры работы пахотных агрегатов на базе тракторов Т-150 и Т-150 К в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия / С. Н. Мардарьев // Актуальные направления технологического, экономического и экологического развития сельского хозяйства. – Екатеринбург, 2017. – С.79-84.
4. Мардарьев, С. Н. Повышение эффективности работы плугов для отвальной вспашки путем адаптации их параметров к изменяющимся условиям функционирования: дис. ... канд. техн. наук. – Чебоксары, 2002. – 154 с.
5. Михайлов, А. Н. К вопросу энергетической оценки механического воздействия на почву ротационных почвообрабатывающих орудий / А. Н. Михайлов, И. И. Максимов, С. Н. Мардарьев // Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса и социальной инфраструктуры села: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА. – Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – С. 450-453.
6. Мишин, П. В. Повышение эффективности использования пахотных агрегатов путем адаптации их параметров к условиям работы / П. В. Мишин, С. Н. Мардарьев, В. Х. Хузин // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы III научно-практической конференции. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2002. – С. 89-94.
7. Мишин, П.В. Повышение эффективности работы почво-обрабатывающих агрегатов путем их адаптации к условиям функционирования: дис. д-ра техн. наук. – Санкт-Петербург, 2001. – 382 с.
8. Петров, П. К. Оптимальные параметры и режимы работы энергоемких почвообрабатывающих агрегатов в условиях адаптивного земледелия / П. К. Петров, С. Н. Мардарьев // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. – Саранск, 2016. – С. 355-360.
9. Петров, П. К. Энергосбережение механизированных технологических процессов растениеводства / В. Г. Степанов, П. К. Петров, С. Н. Мардарьев // Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК: материалы Международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 2015. – С. 636-641.
10. Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ 20016102006 Р.Ф. Оптимизация параметров и режимов работы почвообрабатывающих агрегатов / П. В. Мишин и [др.]. – Опубл. 26.02.2001. – М., 2001. – 1 с.

#### **Сведения об авторах**

1. **Мардарьев Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, заведующий кафедры «Механизация, электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства», Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: s-mard@mail.ru. тел.89278411222;
2. **Мишин Петр Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные технологические машины и комплексы», Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: mail@chst.edu.ru.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF TRACTOR K-424 AND T-150K IN PLOUGHING

**S.N. Mardaryev, P.V. Mishin**  
 Chuvash State Agricultural Academy,  
 Cheboksary, Chuvash Republic, Russia,

**Abstract.** *Dump plowing of the soil still remains the most power-intensive and labor-intensive process in agriculture. When processing the soil by means of a plow for dump plowing about 30% of fuel of the total spent for all complex of works on cultivation and harvesting are spent. When plowing the most powerful tractors which are available in farms are usually used. This article is about tractors of the third traction class K-424 and T-150 K. The T-150 K tractor is most widespread in all territory of Russia and the neighboring countries unlike "vehilemate" of K-424 debuting in 2017. This tractor is fated to occupy a perspective niche in the market of an agrotechnology and to repeat success of the legendary T-150 K tractor which was issued more than forty years. From the point of view of use these tractors are very adapted for power-intensive processes as, having ample opportunities, they are capable to work with plows for dump plowing in any changing operating conditions. In the work the method of calculation of optimum parameters of arable units is offered and their potential and operational characteristics which are the 3D schedule characterizing the relations between the size of hardness of the soil of  $T_v$ , width of capture of  $V_b$ , speed of the movement  $V$ , theoretical productivity of  $W$  and specific fuel consumption of  $q$  by means of the computer program "Optimization of parameters and operating modes of soil-cultivating units" which is specially developed by authors are given. Also optimum parameters of work of the above-stated tractors with serially released plows are presented in the article.*

**Key words:** *soil hardness, the functioning model of the MTA, the potential and operational characteristics, performance, specific fuel consumption.*

## References

1. Mardaryev S. N., Sharonova, T. V. The use of a tractor HTZ-17221 in agricultural works in the conditions of adaptive-landscape farming / S. N. Mardaryev, T. V. Sharonova, // agro-Eko-info. 2018, No.2. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st\\_237.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/2/st_237.doc).
2. Mardaryev S. N. The model of functioning of machine-tractor units and programs for calculation of performance indicators / S. N. Mardaryev, A. N. Mikhailov, P. K. Petrov, D. S. Mitygin, A. N. Yunkerov // Agro-eco-info.- Moscow, 2017. - № 2 (28). - P. 12.
3. Mardaryev S. N. The basic parameters of work of the arable units on the basis of tractor T-15 and T-150 in the conditions of adaptive-landscape farming / S. N. Mardaryev // SB: Current trends of technological, economic and ecological development of agriculture. - Yekaterinburg, 2017. - Pp. 79-84.
4. Mardaryev S. N. Improving the efficiency of the plow to moldboard tillage by adapting their parameters to changing conditions of functioning: Abstract of thesis... cand. of techn.sciences / Chuvash State Agricultural Academy. – Cheboksary, 2002, p.154.
5. Mikhailov A. N. The issue of energy evaluation of mechanical impacts on soil rotary cultivation implements/ A. N. Mikhailov, I. I. Maksimov, S. N. Mardaryev // In the book: Scientific-educational environment as a basis for the development of agro-industrial complex social infrastructure of the village. Materials of the international scientific-practical conference (dedicated to the 85th anniversary of the Chuvash State Agricultural Academy). - Chuvash State Agricultural Academy, 2016. - Pp. 450-453.
6. Mishin P. V. Improved utilization of the arable units by adapting their parameters to the operating conditions / V. P. Mishin, S. N. Mardaryev, V. H. Khuzin // In the book: Ecology and agricultural machinery. Proceedings of the 3rd Scientific and practical conference.- St. Petersburg-Pushkin, 2002.- Pp. 89-94.
7. Mishin P. V. The raise of the efficiency in tillage units by adapting them to the conditions of operation/ V. P. Mishin., Thesis for the degree of doctor of technical sciences / St. Petersburg State Agrarian University. - Saint-Petersburg, 2001. – 382 p.
8. Petrov P. K. The optimal parameters and modes of operation of energy-intensive concepts of tillage in the conditions of adaptive agriculture / S. N. Mardaryev, P. K. Petrov // In the book: energy-efficient and resource-saving technologies and systems of collection of scientific works of international scientific-practical conference dedicated to the memory of doctor of technical sciences, Professor F. H. Burumkulov. Institute of Mechanics and Energy.- Saransk, 2016. - Pp. 355-360.
9. Petrov P. K. Energy saving mechanized technological processes of crop / S. N. Mardaryev, V. G. Stepanov, P. K. Petrov, F. V. Kapitonov // collection: Food security and sustainable agricultural development: Materials of the International scientific-practical conference. - Cheboksary, 2015-Pp. 636-641.
10. Certificate of Rospatent on official registration of computer programs 20016102006 R. F. Optimization of parameters and modes of operation soil-cultivating aggregates / P.V. Mishin, V. H. Khuzin, S. N. Mardaryev etc. – Publ. 26.02.2001.

**Information about the authors**

1. **Mardaryev Sergey Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, e-mail: s-mard@mail.ru.

2. **Mishin Pyotr Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, e-mail: mail@chst.edu.ru.

УДК 621.314.222

**МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Л.М. Рыбаков<sup>1)</sup>, В.В. Белов<sup>2)</sup>, Н.Л. Макарова<sup>1)</sup>, А.О. Захватаева<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Марийский государственный университет г. Йошкар-Ола, Россия,

<sup>2)</sup>Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары, Россия

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные методы и средства диагностики силовых трансформаторов. На основе статистической обработки результатов исследований авторы доказывают, что наиболее распространенной причиной отказа трансформаторов является повреждение их обмоток с возможностью регулирования напряжения под нагрузкой. Особо отмечается необходимость в перспективе уделить внимание совершенствованию имеющихся и созданию новых методов контроля оборудования силовых трансформаторов.

На основе анализа результатов исследований 338 отказов и технических нарушений авторы выявили наиболее тяжелые последствия при развитии таких дефектов, как: снижение электрической прочности масляного канала высоковольтных герметичных вводов из-за отложения осадка на внутренней поверхности фарфора и на поверхности внутренней изоляции, снижение электрической прочности бумажно-масляной изоляции высоковольтных негерметичных вводов из-за увлажнения и загрязнения, увлажнение, загрязнение и износ (старение) изоляции обмоток и другие.

Также в статье отмечается, что внутренние короткие замыкания в трансформаторе вызваны повреждениями РПН, высоковольтных вводов и обмоток, которые составляют значительную долю в повреждениях трансформаторов. Авторы считают, что традиционные методы, которые требуют отключения трансформатора на период измерений, достаточно трудоемки и малоэффективны. На основе априорной информации и проведенных исследований мы пришли к выводу, что при оценке технического состояния узлов трансформаторов рекомендуется разработать и внедрить средства диагностирования для выявления перечисленных дефектов в процессе эксплуатации. Заводам-изготовителям силовых трансформаторов для диагностирования основных элементов силовых трансформаторов необходимо комплектовать их встроенными средствами контроля, а также устройствами для регенерации масла в процессе эксплуатации трансформатора.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, обмотка, отказ, методы, средства диагностики, срок службы.

**Введение.** Следует отметить, что ввиду сложившихся экономических условий в России в ближайшие годы по экономическим и техническим причинам вероятность существенного обновления парка силовых трансформаторов невелика. В системе распределения электрической энергии в настоящее время эксплуатируется большое количество силовых трансформаторов, почти отработавших свой нормативный срок службы. Принимая во внимание такое состояние энергетической системы электроснабжения, полагаем, что на текущий момент все более актуальным является решение проблемы продления сроков их службы. Необходимо продолжить оценку возможности дальнейшей эксплуатации такого электрооборудования.

В последние годы в энергетике наметилась тенденция к последовательному переходу от системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) к ремонту электрооборудования: сердечника, обмоток, элементов ввода, устройств переключения ответвлений и др.

**Материалы и методы.** Для оценки состояния элементов трансформатора широкое применение находят такие обследования, как инфракрасное, акустическое, вибрационное, однако на данный момент нормативы для этих видов обследований находятся на стадии разработки.

Для анализа надежности работы трансформаторов необходимо иметь представительную выборку эксплуатационных данных для однотипных трансформаторов в следующем виде:

1. Распределение повреждений по основным элементам трансформаторов разных классов напряжений.
2. Характеристики уровня повреждений.
3. Частота повреждений в зависимости от срока службы трансформаторов.
4. Причины и последствия повреждений.