

УДК 631.331

UDC 631.331

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СО СПИСАННЫХ ТРАКТОРОВ VT-100Д

VOLUME FORECASTING RESTORING DETAILS FROM DECOMMISSIONED VT-100D TRACTORS

Шапиро Евгений Александрович
К.т.н., доцент
РИНЦ SPIN – код: 5975-4917

Shapiro Evgeny Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., docent
RSCI SPIN-code: 5975-4917

Труфляк Евгений Владимирович
Д.т.н., профессор
Scopus Author ID: 57188716454
РИНЦ SPIN – код: 2502-0340

Truflyak Evgeny Vladimirovich
Dr.Sci.Tech, professor
Scopus Author ID: 57188716454
RSCI SPIN code: 2502-0340

Масиенко Иван Викторович
старший преподаватель
РИНЦ SPIN – код: 9171-0495
*ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», г. Краснодар,
Российская Федерация*

Masiyenko, Ivan Viktorovich
Senior lecturer
RSCI SPIN code: 9171-0495
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russian Federation*

В статье описаны вопросы, непосредственно связанные с прогнозированием объемов восстановления изношенных деталей со списанных тракторов VT-100Д. Подробно освещены проблемы, связанные с разработкой инженерной методики прогнозирования объемов восстановления изношенных деталей со списанных с.-х тракторов марки VT-100Д. Заключительная часть статьи посвящена рассмотрению методов достижения требуемого межцентрового расстояния при восстановлении шатунов автотракторных дизельных двигателей СМД-20ТА, используемых на современных тракторах VT-100Д

The article describes issues directly related to predicting the recovery of worn-out parts from decommissioned VT-100D tractors. The problems related to the development of an engineering methodology for predicting the volume of restoration of worn-out parts from decommissioned agricultural tractors of the VT-100D brand are highlighted in detail. The final part of the article is devoted to the consideration of methods for achieving the required center-to-center distance when restoring connecting rods of SMD-20TA tractor diesel engines used on modern VT-100D tractors

Ключевые слова: ДЕТАЛИ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ОБЪЕМЫ, СПИСАНИЕ, ШАТУНЫ, ДВИГАТЕЛИ, ТРАКТОР VT-100Д

Keywords: DETAILS, RESTORATION, FORECASTING, VOLUMES, WRITE-OFF, CONNECTING RODS, ENGINES, TRACTOR VT-100D

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-209-047>

Введение. Использование годных деталей и узлов со списываемых тракторов – важный резерв в обеспечении агрохозяйств Краснодарского края запасными частями.

Уже в настоящее время за счет использования таких деталей выпуск новых запасных частей большой номенклатуры может быть значительно сокращен, а по отдельным наименованиям полностью прекращен.

<http://ej.kubagro.ru/2025/05/pdf/47.pdf>

Как показывает динамика воспроизводства тракторов отдельных марок, выпуск запасных частей остается необходимым в течение длительного времени и после прекращения их производства.

Однако при этом наблюдается постоянный рост объемов списываемых тракторов относительно числа капитально ремонтируемых и машинно-тракторного парка в целом.

На определенной стадии воспроизводства объем списываемых тракторов не только достигает, но и превышает объем ремонтируемых.

Следует отметить, что возрастающая роль списываемых тракторов в обеспечении потребителя годными деталями и узлами наблюдается и в случае выпуска новых тракторов отдельной марки в пределах одного года.

Теоретически это справедливо для любой совокупности одновременно выпущенных тракторов и обусловлено случайной природой рассеяния фактического срока службы данной с.-х техники.

Целью исследования в настоящей статье является разработка инженерной методики прогнозирования объемов восстановления изношенных деталей со списываемых с.-х тракторов ВТ-100Д.

Объектом исследования выступает процесс производственной и технической эксплуатации современных с.-х тракторов.

В свою очередь, **предмет исследования** составляет методика прогнозирования объемов восстановления изношенных деталей со списываемых с.-х тракторов марки ВТ-100Д.

Задачами исследования в настоящей работе являются:

– рассмотрение результатов обследования машин отдельных марок по фактическому сроку их службы (например, материалы выборочных обследований тракторов, проведенные магистрантами кафедры эксплуатации и технического сервиса Кубанского госагроуниверситета Галушкиным Ю.К. и Крыловым Д.Ю.), а также результаты обследований технического состояния узлов и деталей [5];

– проверка научной гипотезы о том, что технический ресурс коробки передач трактора ВТ-100Д до списания можно определить в соответствии с законом распределения Вейбулла.

В настоящей научной статье используются следующие материалы и методы исследования:

- 1) результаты обследования технического состояния современных тракторов ВТ-100Д по фактическому сроку службы;
- 2) методы теории вероятностей и математической статистики;
- 3) методы индукции и дедукции, сравнения и обобщения различных показателей надежности и срока службы с.-х техники, и др.

Рассматривая **результаты проведенных исследований**, необходимо отметить, что основой для проведения необходимых расчетов по прогнозированию технического ресурса коробки передач трактора ВТ-100Д до списания и объемов восстановления изношенных деталей со списываемой с.-х техники могут служить результаты обследований машин отдельных марок по фактическому сроку службы.

В частности в настоящей работе представлены материалы выборочных обследований тракторов марки ВТ-100Д, проведенные магистрантами кафедры эксплуатации и технического сервиса Кубанского ГАУ.

При этом необходимо отметить, что расчеты распределений машин по фактическому сроку службы в соответствии с методикой, разработанной в Кубанском ГАУ, позволяют достаточно точно прогнозировать парк машин отдельных марок и объемы их списания по годам, в том числе и после снятия машин с производства.

В свою очередь, опытные вероятности выхода деталей в группы годности являются основой для расчета обеспеченности сельского хозяйства запасными частями за их счет.

В частности авторами настоящей статьи предложена следующая формула для расчета количества годных без восстановления деталей, получен-

ных со списываемых тракторов ВТ-100Д в расчете на 100 тракторов в i -том году [5]:

$$n_{ij} = \frac{P_i N_{cj} 100}{N_{Kj}}, \quad (1)$$

где n_{ij} – число годных без восстановления деталей i -го наименования, полученных со списываемой техники в расчете на 100 тракторов ВТ-100Д машинно-тракторного парка в j -м году, шт.;

P_i – опытная вероятность выхода деталей i -го наименования в группу годных без восстановления;

N_{Cj} – количество списываемых тракторов ВТ-100Д в j -м году, шт.;

N_{Kj} – число тракторов ВТ-100Д в парке на конец j -го года, шт.

По нашему мнению, расчет количества годных без восстановления деталей i -го наименования со списываемых тракторов ВТ-100Д, можно проводить с использованием функции плотности распределения Вейбулла:

$$f(t) = \frac{b}{x_0} x^{b-1} \exp\left(-\frac{x^b}{x_0}\right), \quad (2)$$

где $f(t)$ – функция плотности распределения Вейбулла;

b, x_0 – коэффициенты распределения.

В соответствии с законом Вейбулла количество списываемых тракторов ВТ-100Д в j -м году можно определить по следующей формуле [1, 2]:

$$N_{Cj} = \frac{b}{a} \left[\sum_{i=1}^j \left(\frac{t-c}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t-c}{a} \right)^b} \right] N_{H_{j-t+1}}, \quad (3)$$

где N_{Cj} – количество списываемых тракторов ВТ-100Д в j -м году, шт.;

a, b, c – параметры полученного теоретического закона распределения;

t – срок службы тракторов ВТ-100Д, лет;

N_{j-t-1} – объемы поставок тракторов ВТ-100Д на $(j-t-1)$ -м году выпуска машин рассматриваемой марки, шт.

Аналогичные расчеты можно выполнить и для деталей (узлов) от списываемых машин, годных к использованию после восстановления.

В таблице 1 приведены объемы восстановления деталей коробки передач 100.37.001 со списанных тракторов ВТ-100Д (в расчете на 100 машин).

Таблица 1 – Объемы восстановления изношенных деталей со списанных тракторов ВТ-100Д

№ детали по каталогу	Деталь	Число годных деталей		Годовая норма расхода запасных частей на 100 машин
		в настоящее время	после прекращения выпуска машин	
Вал первичный	100.37.010	4,6	18,2	5
Шестерня постоянного зацепления	100.37.184-1	0,7	2,6	15
Шестерня IV передачи	100.37.029-2	2,4	9,4	22
Шестерня II передачи	100.37.027-2	1,9	7,6	14
Вилка переключения III и IV передачи	100.37.013А	1,3	5,0	2
Вилка переключения задней передачи	100.37.015А	6,6	27,0	1

В данной таблице для сравнения приведены существующие годовые нормы расхода запасных частей на 100 тракторов.

Расчеты показывают, что потребность почти в половине выпускаемых в настоящее время запасных частей к тракторам ВТ-100Д может быть покрыта за счет использования годных деталей со списываемых машин.

На рисунке 1 приведена дифференциальная функция распределения технического ресурса коробки передач трактора ВТ-100Д до списания с использованием закона распределения Вейбулла.

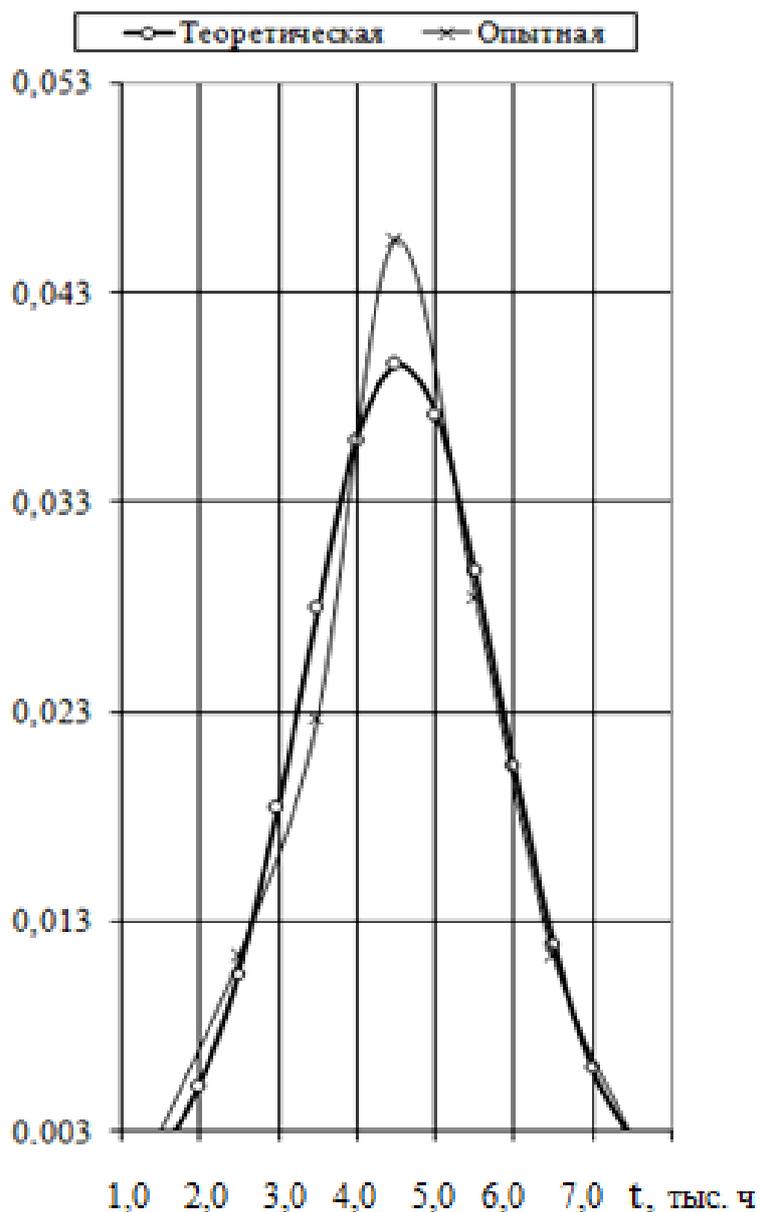


Рисунок 1 – Дифференциальная функция распределения технического ресурса коробки передач трактора ВТ-100Д до списания

Далее необходимо отметить, что в настоящей работе проверялась научная гипотеза о том, что технический ресурс коробки передач трактора ВТ-100Д до списания можно определить в соответствии с законом распределения Вейбулла.

По результатам проведенных исследований было установлено, что в сравнении с другими законами, по величине уровня значимости $\alpha = 0,95$, максимальное совпадение опытных значений технического ресурса коробки передач трактора ВТ-100Д с теоретическим, имеет закон распределения Вейбулла.

Важно также отметить, что другой резерв удовлетворения потребности агрохозяйств Краснодарского края в запасных частях – увеличение объемов экономически целесообразного восстановления изношенных деталей.

Это позволит также увеличить загрузку ремонтно-технологического оборудования ремонтно-технических предприятий (РТП), а также повысить эффективность ремонтно-обслуживающей базы.

Магистрантами кафедры эксплуатации и технического сервиса Кубанского ГАУ было установлено, что годовая экономия от снижения затрат на капитальный и текущий ремонт тракторов ВТ-100Д за счет организации полного использования деталей со списываемых машин может составить в целом по агрохозяйствам Краснодарского края не менее 42 млн. руб.

Прогнозирование объемов использования годных деталей и узлов со списываемых машин позволит правильно спланировать выпуск нужных запасных частей, своевременно прекратить производство запасных частей отдельных наименований, увеличив за счет этого выпуск дефицитных запасных частей, обеспечить наиболее полное использование деталей.

Рассмотрим теперь опыт организации использования годных без восстановления деталей тракторов ВТ-100Д, выработавших свой технический ресурс до 1-го капитального ремонта (рисунок 2).

Данный опыт организации использования годных без восстановления деталей со списываемых тракторов ВТ-100Д был обобщен в официальном дилерском центре Волгоградского тракторного завода (ВГТЗ) компании «АгроКапитал».

При ремонте машин в сельском хозяйстве значительные средства затрачиваются на приобретение запасных частей. Поэтому одним из основных факторов снижения затрат является сокращение расхода новых деталей за счет организации ремонта изношенных.



Рисунок 2 – Трактор ВТ-100Д, выработавший свой технический ресурс до 1-го капитального ремонта

Большую часть с.-х техники ремонтируют в хозяйствах, включая сельхозмашины, тракторы, комбайны и автомобили. Здесь в основном проводят текущий ремонт техники методом замены вышедших из строя агрегатов и деталей.

При этом дефекты деталей устраняют механической обработкой под ремонтный размер, слесарной обработкой, сваркой, наплавкой, пайкой, ковкой, применением полимерных материалов и т.д.

Хорошо организовано гарантийное обслуживание тракторов ВТ-100Д в компании «АгроКапитал», где существует внутрихозяйственная специализация и кооперация ремонта составных частей этих тракторов, восстановления и изготовления изношенных деталей.

В ремонтной мастерской этой компании налажено восстановление широкой номенклатуры деталей со списанных тракторов ВТ-100Д довольно простыми способами. Здесь также создан участок восстановления изношенных деталей, оснащенный современным ремонтно-технологическим оборудованием.

В частности, внедрены установки УДГ-30А для ручной дуговой сварки алюминиевых деталей в среде аргона, ОКС-6575 для вибродуговой наплавки деталей и др.

На этом участке восстанавливают около 50 наименований деталей, таких как: коленчатые валы тракторов и автомобилей, оси качания, силовые валы, диски муфт сцепления, поворотные цапфы и др.

Однако для равномерной загрузки мастерской компании «АгроКапитал» в течение года необходимо планировать объемы восстановления деталей на определенный период. Для этого данная компания совместно с учеными кафедры эксплуатации и технического сервиса Кубанского ГАУ разработала методику расчета годовых объемов восстановления деталей.

Суть ее состоит в определении коэффициентов охвата ремонтом составных частей машин и коэффициентов восстановления деталей применительно к конкретному агрохозяйству. Эти коэффициенты определяются опытным путем и на основании отчетности, имеющейся в ремонтной мастерской, по фактическим данным за предыдущие годы.

Для расчета коэффициентов охвата ремонтом составных частей машин и коэффициентов восстановления деталей авторами настоящей статьи предлагается использовать следующие формулы:

$$K_{CM} = \frac{n_p}{n_o}; \quad (4)$$

$$K_{PD} = \frac{n_d}{n_{од}}, \quad (5)$$

где K_{CM} , K_{PD} – соответственно коэффициент охвата ремонтом составной

части машины данной марки и коэффициент восстановления детали данного наименования;

n_p и n_d – соответственно число одноименных деталей, требующих ремонта;

n_o и $n_{од}$ – соответственно общее число деталей, которые были продефектованы.

При отсутствии у машин выделенных сборочных единиц (плуги, культиваторы и т. д.) значение K_{CM} принимается равным 1.

Число деталей данного наименования, подлежащих ремонту в планируемый период, предложено определять по такому выражению [3, 4]:

$$Q_{pд} = H_M K_T K_{CM} K_{pд} n_d, \quad (6)$$

где $Q_{pд}$ – количество деталей данного наименования, подлежащих ремонту в планируемый период, шт.;

H_M – количество машин данной марки, имеющих в наличии в планируемый период;

K_T – коэффициент охвата текущим ремонтом машины данной марки;

K_{CM} – коэффициент охвата ремонтом составной части машины данной марки;

$K_{pд}$ – коэффициент восстановления детали данного наименования;

n_d – число одноименных деталей на машине данной марки.

Значения коэффициентов охвата машин текущим ремонтом определялись простым пересчетом коэффициентов охвата машин данной марки капитальным ремонтом.

В процессе проведенного авторами настоящей статьи исследования было установлено, что у отремонтированных тракторных дизельных двигателей ресурсные отказы из-за неработоспособности шатунов возникают в 4,3 раза чаще, чем у новых.

Поэтому обеспечение требуемого качества их восстановления – одна из важнейших проблем, стоящих перед агрохозяйствами и РТП Краснодарского края.

Известны различные технологии восстановления изношенных отверстий головок шатунов: электролитическое натирание медью, осталивание, наплавка и напайка стальной ленты, нанесение полимерных покрытий, газопламенное напыление и т. д.

Такое разнообразие технологий восстановления шатунов объясняется в первую очередь низким уровнем их ремонтпригодности с точки зрения унификации.

Анализ геометрических параметров показал, что более высокий уровень унификации достигается в случае, когда шатуны конструируют и изготавливают на одном предприятии.

При сравнении же конструкций шатунов, разработанных на разных предприятиях, даже при идентичности мощностных и общих конструктивных решений дизелей, наблюдается неоправданное расхождение их геометрических параметров.

Это отрицательно сказывается на технико-экономических показателях тех РТП, где восстанавливают изношенные шатуны. При этом, низкий уровень ремонтпригодности проявляется в увеличении номенклатуры подлежащих восстановлению шатунов, производственных площадей и номенклатуры соответствующего ремонтно-технологического оборудования.

Кроме этого, недостаточно исследованы характерные износы шатунов, на базе которых определяются коэффициенты повторяемости дефектов, сочетаемость и границы экономической эффективности способов их устранения.

Одна из важнейших геометрических характеристик шатуна – межцентровое расстояние отверстий верхней и нижней головок. Восстановление

этого размера до требуемых значений вызывает самые большие затруднения при разработке ремонтных технологий.

Рассмотрим подробнее пути достижения требуемого межцентрового расстояния при восстановлении шатунов автотракторных двигателей, установленных на тракторах ВТ-100Д. Оно определяется с помощью следующего математического выражения [4]:

$$A_{\Sigma} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4, \quad (7)$$

где A_{Σ} – требуемое межцентровое расстояние при восстановлении шатунов;

A_1 – радиус отверстия нижней головки;

A_2 – расстояние между ближайшими образующими отверстий поршневой и кривошипной головок, измеренное вдоль оси симметрии шатуна;

A_3 – расстояние между ближайшими образующими внутренней и наружной поверхностей втулки верхней головки, измеренное по оси симметрии шатуна;

A_4 – радиус отверстия втулки верхней головки.

Из пяти членов этого выражения три – A_{Σ} , A_1 и A_4 – определены требованиями стандарта ИУС 3-1986 «Дизели тракторные и комбайновые. Шатуны. Общие технические условия».

Следовательно, при разработке технологии восстановления шатунов можно варьировать расстояниями A_2 и A_3 , которые жестко взаимосвязаны.

При увеличении (уменьшении) одного из них настолько же должно уменьшиться (увеличиться) другое.

Расстояние A_2 является функцией эксплуатационного износа и деформаций шатуна, используемых ремонтных размеров верхней и нижней головок и точности обработки отверстий при его изготовлении или восстановлении.

Размер A_3 – функция точности обработки отверстий верхней головки и внутренней поверхности втулки, ремонтных размеров и величины эксцентриситета ее внутренней поверхности относительно наружной.

Следовательно, компенсировать межцентровое расстояние до требуемого значения при восстановлении шатунов можно за счет рационального выбора припусков:

- при обработке втулки верхней головки (то есть созданием в допустимых пределах эксцентриситета ее внутренней поверхности относительно наружной);
- при расточке отверстий головки под ремонтный размер;
- при обработке отверстия нижней головки, в том числе и при наличии ремонтных размеров под шатунный вкладыш, увеличенный по наружному диаметру;
- растяжкой шатуна; наращиванием материала на изношенные поверхности.

Расчетами установлено и практикой большинства ремонтных предприятий доказано, что наибольший экономический эффект достигается при восстановлении геометрических параметров шатунов одной механической обработкой.

Анализом данных по значительному количеству РТП установлено, что имеет место следующее соотношение [2, 3, 4]:

$$D + E + \Phi = 1,6 - 2,6. \quad (8)$$

Приведенные в выражении (8) коэффициенты D , E и Φ , позволяют рассчитать значения норм удельного объема восстановления изношенных деталей со списанных тракторов ВТ-100Д в стоимостном выражении по интервалам наработки.

Для этого можно использовать уравнение степенной функции:

$$S_{y\partial}(L) = \omega t^n, \quad (9)$$

где $S(t)$ – норма удельного объема восстановления изношенных деталей со списанных тракторов ВТ-100Д, руб./1000 чⁿ⁺¹.

ω – удельный коэффициент, руб./1000 ч;

n – показатель степени, соответствующий наработке трактора t .

Применив формулу (9), запишем следующее выражение [3]:

$$S_{y\partial}(L) = \frac{\omega}{1 + D + E + \Phi} t^n, \quad (10)$$

где $S_{y\partial}(t)$ – норма удельного объема восстановления изношенных деталей со списанных тракторов ВТ-100Д, руб./1000 ч.

Для расчета нормы суммарных затрат на запчасти за выработанный трактором ВТ-100Д технический ресурс можно использовать следующее математическое выражение: [4]:

$$S_K = \frac{\omega}{n+1} t_p^{n+1}, \quad (11)$$

где S_K – рыночная стоимость трактора ВТ-100Д;

ω – удельный коэффициент, руб./1000 ч;

n – показатель степени при наработке трактора t .

При этом, норму суммарных затрат на запчасти за выработанный трактором ВТ-100Д технический ресурс с помощью преобразованного уравнения (8) можно определить так [4]:

$$S_{зч} = \frac{S_K}{n(1 + D + E + \Phi)}, \quad (12)$$

где $S_{зч}$ – норма суммарных затрат на запчасти за выработанный трактором ВТ-100Д технический ресурс, руб./ресурс.

Таким образом, нами была рассмотрена довольно простая инженерная методика определения величины норм удельного объема восстановления изношенных деталей со списанных тракторов ВТ-100Д по интервалам наработки в стоимостном выражении.

Заключение. По результатам исследования в настоящей статье были приведены объемы восстановления изношенных деталей коробки передач 100.37.001 в расчете на 100 машин со списанных тракторов ВТ-100Д.

С вероятностью $\alpha = 0,95$ было установлено, что технический ресурс коробки передач трактора ВТ-100Д до списания можно определять с использованием закона распределения Вейбулла.

Предложена формула для расчета количества деталей данного наименования, подлежащих ремонту в планируемый период производственной и технической эксплуатации тракторов ВТ-100Д.

Рассмотрены методы достижения требуемого межцентрового расстояния при восстановлении шатунов автотракторных дизельных двигателей СМД-20ТА, используемых на тракторах ВТ-100Д.

Библиографический список

1. Шапиро Е.А., Черноиванов А.Г. Методы повышения надежности и эффективности функционирования уборочно-транспортных комплексов. В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий. Материалы XX Международной научно-производственной конференции. 2016. С. 127-128.
2. Чеботарев М.И., Черноиванов А.С., Шапиро Е.А. Обоснование структуры технологического комплекса машин с учетом агроклиматических условий Краснодарского края. Политематический электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. №128 (04). С. 107-109.
3. Чеботарев М.И., Тарасенко Б.Ф., Шапиро Е.А. Экспертный метод факторного анализа эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов. Политематический электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. №136. С. 71-86.
4. Тарасенко Б.Ф., Оськин С.В., Шапиро Е.А., Горовой С.А. Усовершенствованные технологии и средства почвообработки. Политематический электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. №150. С. 10-29.
5. Шапиро Е.А., Дей А.В., Галушкин Ю.К., Крылов Д.Ю. Количественные показатели качества и надежности гидравлических распределителей. В сборнике: Прогрессивные технологии в современном машиностроении. Сборник статей XVII Международной научно-технической конференции. Пенза. 2022. С. 118-121.

References

1. Shapiro E.A., Chernoi Ivanov A.G. Metody povysheniya nadezhnosti i jeffektivnosti funkcionirovaniya uborochno-transportnyh kompleksov. V sbornike: Problemy i perspektivy innovacionnogo razvitiya agrotehnologij. Materialy NN Mezhdunarodnoj nauchno-proizvodstvennoj konferencii. 2016. S. 127-128.

2. Chebotarev M.I., Chernoiivanov A.S., Shapiro E.A. Obosnovanie struktury tehnologicheskogo kompleksa mashin s uchetom agroklimaticheskikh uslovij Krasnodarsko-go kraja. Politematicheskij jelektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrar-nogo universiteta. 2017. №128 (04). S. 107-109.

3. Chebotarev M.I., Tarasenko B.F., Shapiro E.A. Jekspertnyj metod faktornogo analiza jekspluacionnoj nadezhnosti zernouborochnyh kombajnov. Politematicheskij jelektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. №136. S. 71-86.

4. Tarasenko B.F., Os'kin S.V., Shapiro E.A., Gorovoj S.A. Uovershenstvovan-nye tehnologii i sredstva pochvoobrabotki. Politematicheskij jelektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. №150. S. 10-29.

5. Shapiro E.A., Dej A.V., Galushkin Ju.K., Krylov D.Ju. Kolichestvennye pokazateli kachestva i nadezhnosti gidravlicheskih raspredelitelej. V sbornike: Progres-sivnye tehnologii v sovremennom mashinostroenii. Sbornik statej HVII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Penza. 2022. S. 118-121.