

Научная статья
УДК 621.824.43:681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОВ ДЕТАЛЕЙ ШЛИЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПУТЕМ СОСТАВЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО РЯДА

Сергей Петрович Псюкало

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Россия

Аннотация. Для многих элементов машин (деталей, сопряжений, узлов, агрегатов), находящихся в эксплуатации, может быть выбран параметр, значение которого характеризует техническое состояние элемента и для контроля которого имеются обоснованный метод и средства измерения. Таким параметром является износ деталей машины. В работе изложены результаты исследования технического состояния деталей шлицевого соединения. Для этого была разработана программа, позволяющая на первом этапе статистической обработки данных по износам шлицев валиков масляного насоса тракторов «Кировец» по толщине, составлять статистический ряд. В конструкциях отечественных тракторов, особенно в трансмиссиях тракторов К-700А и К-701, наиболее часто при их изготовлении применялись прямобочные шлицевые соединения, с наиболее распространенными износами шлицев по толщине. Износы деталей шлицевого соединения происходят ввиду наличия погрешностей элементов шлицевого профиля по расположению в пространстве, а также в результате воздействия и ряда других немаловажных факторов, таких как неравномерно действующие на каждый из шлицев динамические знакопеременные нагрузки. Это характерно для узлов и деталей любой современной техники, в том числе и для сегодняшних модификаций тракторов марки «Кировец». Чтобы решать такие важные задачи, как прогнозирование технического состояния элементов трактора, определение оптимальной межконтрольной наработки, оптимального допустимого при контроле значения параметра износа, прогнозирование расхода запасных частей и так далее, необходимо углубленно заниматься изучением этих процессов. Для исследования сложного вероятностного процесса, каким является процесс изменения параметра и постепенного отказа элемента, наиболее целесообразно использование методов компьютерного статистического моделирования.

Ключевые слова: износное состояние, шлицевое соединение, компьютерная программа, статистический ряд, алгоритм обработки данных.

Для цитирования: Псюкало С.П. Использование программного обеспечения для обработки износов деталей шлицевого соединения путем составления статистического ряда // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 5 (111). С. 57-61.

Original article

USING SOFTWARE TO PROCESS THE WEAR OF SPLINED JOINT PARTS BY COMPILING A STATISTICAL SERIES

Sergey P. Psyukalo

The Azov-Black Sea Engineering Institute - branch of Don State
Agrarian University, Zernograd, Russia

Abstract. For many machine elements (parts, interfaces, assemblies, aggregates) in operation, a parameter can be selected, the value of which characterizes the technical condition of the element and for control of which there is a reasonable method and measuring instruments. Such a parameter is the wear of machine parts. The paper presents the research results of the technical condition of the splined joint parts. For this purpose, a program has been developed that allows to compile a statistical series at the first stage of statistical data processing on the wear of the rollers' splines of the «Kirovets» tractors oil pump in thickness. In the designs of domestic tractors, especially in the transmissions of K-700A and K-701 tractors, straight-line splined joints were most often used in their manufacture, with the most common spline wear by thickness. Wear of the splined joint parts occurs due to the presence of errors in the elements of the spline profile in terms of location in space, as well as as a result of a number of other important factors, such as dynamic alternating loads acting unevenly on each of the slots. This is typical for components and parts of any modern techniques, including today's modifications of the Kirovets brand tractors. In order to solve such important tasks as predicting the technical condition of tractor components, determining the optimal inter-control operating time, the optimal permissible wear parameter value, forecasting the consumption of spare parts, and so on, it is necessary to study these processes in depth. For research a complex probabilistic process, such as the

process of changing a parameter and the gradual failure of an element, it is most advisable to use computer statistical modeling methods.

Key words: wear condition, splined joint, computer programme, statistical series, data processing algorithm.

For citation: Psyukalo S.P. Using Software to process the wear of splined joint parts by compiling a statistical series // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. No. 5 (111). Pp. 57-61.

Введение. При оценке износостойкости деталей машин в процессе эксплуатации и выявлении основных процессов, происходящих в их поверхностных слоях при изнашивании, необходимо установить ведущий вид износа.

Вопросами по установлению основополагающих факторов по износам шлицевых соединений занимались ученые: Иоселевич Г.Б., Левина З.М., Решетов Д.Н., Анилович В.Я., Скундин Г.И., Костровский Г.И., а также ученые различных научных учреждений: ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, НАТИ, ВНИПТИМЭСХ [1].

Практика ремонта изношенных деталей различного рода узлов, в условиях ремонтных мастерских [2-6], знает множество видов повреждения деталей и способов восстановления их работоспособности. Также имеется достаточное количество информации у специалистов ремонтников, что у входящих в шлицевое соединение шлицевых валов преобладающим, то есть имеющим наибольшее значение коэффициента повторяемости от общего количества видов износа, является износ шлицев по толщине.

Цель: работа выполнена с целью разработать алгоритм, позволяющий многократно выполнять обработку износных данных деталей шлицевого соединения по толщине зуба с построением статистического ряда, при помощи программного обеспечения.

Объекты и методы исследования. Для того, чтобы практика ремонта изношенных деталей не отставала от требований, диктуемых техническим прогрессом производимых промышленностью механизмов, необходимо хорошо понимать основные постулаты теории восстановления.

На сегодняшний день трактор, в котором шлицевые соединения являются неотъемлемой частью агрегатов конструкции, необходимо поддерживать в постоянной технической готовности. Как правило, достигается это за счет ремонта изношенных сопряжений.

Вследствие того, что поверхности деталей, входящих в сопряжение конического редуктора механизма привода масляного насоса коробки передач трактора «Кировец» изнашиваются так же, как подавляющее большинство деталей других механизмов, и соответственно также недолговечны, мы приняли их за объект исследований. Для нас наибольший интерес имели шлицевые валики. Износы, которые они имели в результате действующих нагрузок и ряда других отмеченных нами факторов, приводили к уменьшению толщины шлица, вследствие чего нарушалась их правильная работа по передаче крутящего момента, уменьшался ресурс работы узла.

Более всего подвержены износам детали: шестерня 700А.17.01.211 и валик 700А.17.00.038-3 привода масляного насоса коробки передач трактора К-701. Из анализа имеющихся данных [1] величины их износов могут достигать 1,5...2,0 мм, а ремонтные мастерские вынуждены прибегать к замене практически порядка 50% поступающих в ремонт комплектов деталей. Это вызывает увеличенный расход запасных частей, и может превышать норму в несколько раз.

На рисунках 1 и 2 представлены изношенные поверхности конического редуктора механизма привода масляного насоса КПП трактора «Кировец».

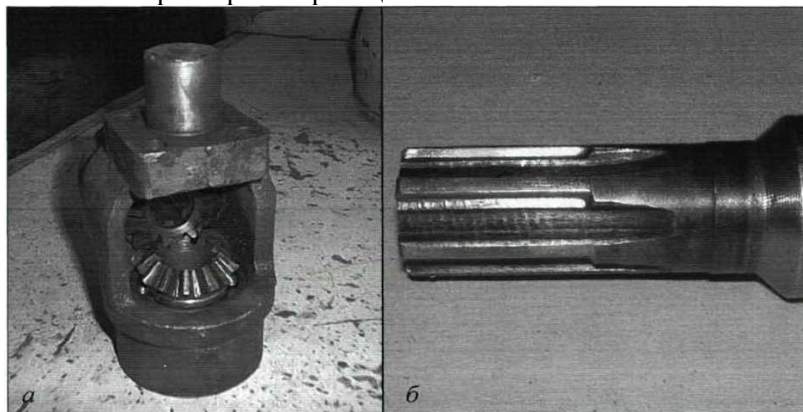


Рисунок 1 – Конический редуктор механизма привода масляного насоса в сборе 700А.17.01.290 (а) и шлицевая часть вала привода насоса 700А.17.01.191 (б)

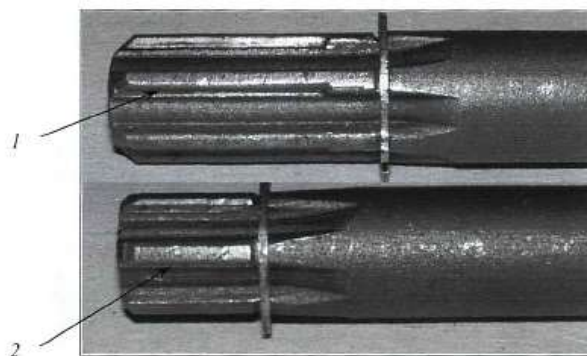


Рисунок 2 – Изношенные поверхности шлицев валика 700А.17.00.038-3 (1 – шлицевая часть вала, соединяемая с шестерней конического редуктора; 2 – шлицевая часть вала, соединяемая с втулкой привода насоса)

В качестве методов исследований мы использовали известные методы статистической обработки данных [7].

Экспериментальная часть. Мы использовали валики с различной степенью износа шлицев по толщине, которые нам предоставили специалисты ремонтного предприятия ЗАО «РТП Зерноградское». Учитывали, чтобы валики имели износы допустимые в сопряжении с бывшими в эксплуатации, а также с новыми деталями.

Выполнили микрометраж 48 шлицев восьми валиков, данная выборка с достаточной степенью точности позволяет судить о состоянии изношенных деталей, которые поступают на ремонтное предприятие, и использовать методы статистической обработки износов.

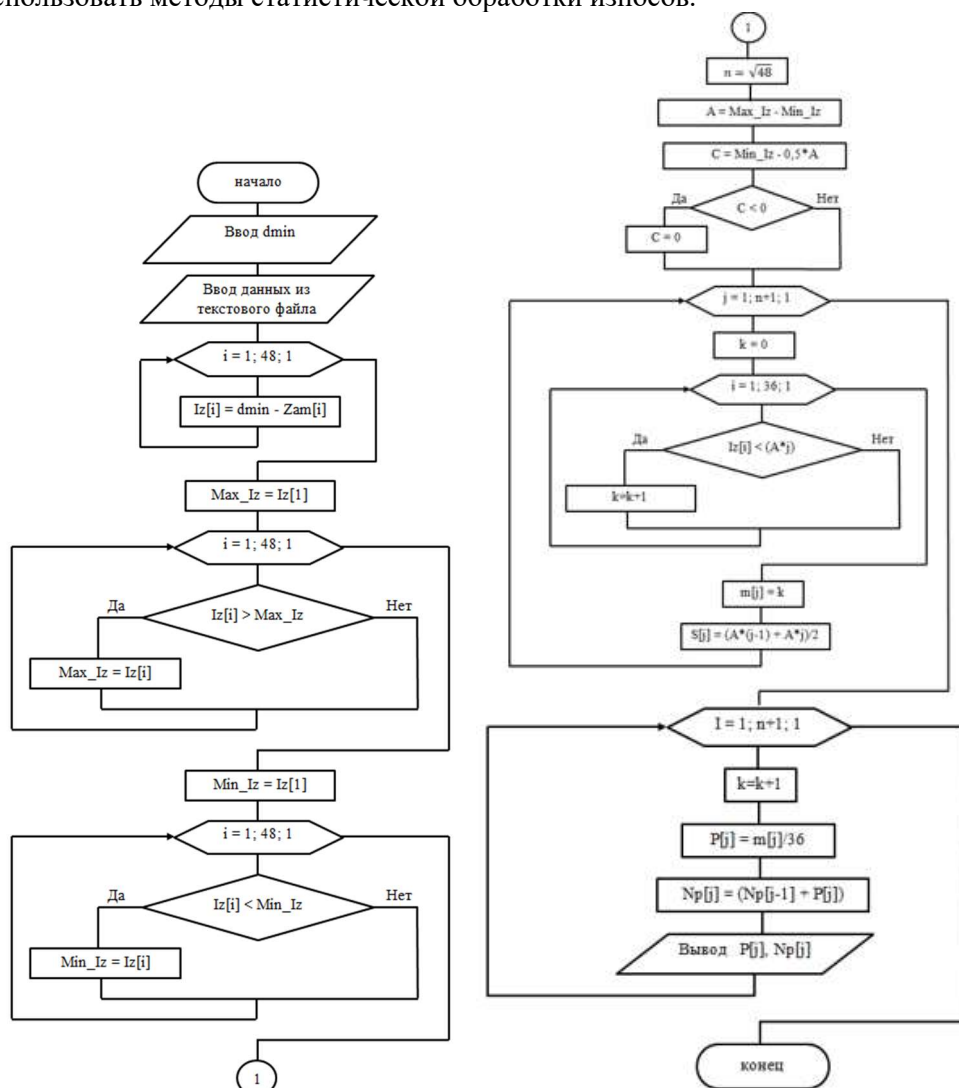


Рисунок 3 – Износ шлицев валика 700А.17.00.038-3

Для изучения процесса износа шлицев валиков был составлен алгоритм, первая часть которого служит для статистической обработки полученных в результате эксперимента данных (рисунок 3). Данный алгоритм позволяет строить статистический ряд с разбиением его на интервалы, определением середины интервалов, опытной частоты m_i , опытной вероятности p_i и накопленной опытной вероятности Σp_i . В дальнейшем это позволит решать такие важные задачи, как прогнозирование технического состояния элементов трактора, определение оптимальной межконтрольной наработки, оптимального допустимого при контроле значения износа, а в ряде случаев и оптимального предельного значения износа, прогнозирование расхода запасных частей и т.д.

Результаты и обсуждение. Моделирование технических и технологических процессов износа можно осуществлять с использованием разнообразных математических пакетов и прикладных программ [8, 9]. По представленному выше алгоритму разработана программа на языке программирования Python. Для проверки работоспособности разработанной программы использовались результаты измерений 48 шлицев восьми валиков, работающих в соединении с шестерней конического редуктора (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты измерений износов шлицев (фрагмент)

Валик	Шлиц № п/п	Ср. толщина шлица, мм	Величина износа, мм
1	1	3,08	0,442
	2	3,07	0,458
	3	3,00	0,525
	4	3,03	0,500
	5	3,03	0,492
	6	3,03	0,500
2	1	3,11	0,417
	2	3,12	0,408
	3	3,13	0,392
	4	3,18	0,350
	5	3,20	0,325
	6	3,17	0,358
...			
8	1	2,09	1,433
	2	2,13	1,400
	3	2,13	1,400
	4	2,14	1,383
	5	2,13	1,400
	6	2,13	1,392

В программе выполнена статистическая обработка данных: получен вариационный ряд (рисунок 4), дающий первичную статистическую обработку экспериментальных данных. Вариационный ряд позволит, в дальнейшем, построить гистограмму частот, аккумулятивную кривую и выяснить закон распределения данных.

Таблица 1 - Статистический ряд

Интервалы	Середина интервала, si	Опытная частота, mi	Опытная вероятность, Pi	Накопленная опытная вероятность, Npi
1 0-0,15	0.075	2	0.04	0.04
2 0,15-0,30	0.225	3	0.06	0.1
3 0,30-0,45	0.375	4	0.08	0.18
4 0,45-0,60	0.525	14	0.28	0.46
5 0,60-0,75	0.675	19	0.38	0.84
6 0,75-0,90	0.825	6	0.12	0.96
7 0,90-1,05	0.975	2	0.04	1

Рисунок 4 – Результаты работы программы на языке Python

Вывод. Для определения при контроле с установленной периодичностью оптимального допустимого значения параметра элементов трактора, когда известно предельное значение этого параметра, необходимо выполнять статистическую обработку износных данных. Разработанный алгоритм и на его основе компьютерная программа позволяют многократно выполнять обработку данных по из-

носам шлицев валиков масляного насоса тракторов «Кировец» при выполнении первого этапа статистической обработки – составлении статистического ряда.

Список источников

1. Белый В.И. Оценка качества обкатки шлицевых соединений и зубчатых передач при применении антифрикционной добавки по вибрационным параметрам: дис. ... канд. техн. наук. зерноград, 2009. 206 с.
2. Серегин А.А., Псюкало С.П., Луханин В.А. Повышение надежности отдельных узлов, передач и агрегатов машин сельскохозяйственного назначения: монография. зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2022. 211 с.
3. Псюкало С.П., Луханин В.А. Методы и средства повышения надежности и эффективности работы отдельных узлов, передач и агрегатов машин сельскохозяйственного назначения: монография. зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024. 171 с.
4. Редька А.А. Проектирование ремонтных мастерских ТО и ТР сельскохозяйственной техники на предприятиях АПК // Молодые ученые в аграрной науке: сб. материалов VII междунар. науч.-практ. конф. Луганск, 2024. С. 27-29.
5. Царенко Ю.Ю. Организация рабочих мест на ремонтных предприятиях АПК на примере разборочно-моечного участка по ремонту двигателей // Молодые ученые в аграрной науке: сб. материалов VII междунар. науч.-практ. конф. Луганск, 2024. С. 33-35.
6. Constant angle line of distributing seeds and fertilisers by a horizontal centrifugal machine / V.A. Lukhanin, V.I. Khizhnyak, S.P. Psiukalo et al. // BIO Web of Conferences. 2024. Т. 103. С. 00058.
7. Надежность технических систем: учебное пособие / С.П. Псюкало, В.А. Луханин, А.Г. Арженковский, С.Л. Никитченко. зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024. 230 с.
8. Аналитические и численные методы в инженерном анализе: курс лекций [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Д.В. Степовой, М.Н. Середина, Н.М. Удинцова [и др.] зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024. 205 с.
9. Грачева Н.Н., Руденко Н.Б., Литвинов В.Н. Специализированное программное обеспечение для научных исследований [Электронный ресурс]: практикум. зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Донской государственный аграрный университет", 2018. 257 с.

Информация об авторе:

С.П. Псюкало - кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета.

Information about the author:

S.P. Psyukalo - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute - branch of the Don State Agrarian University.

Автор несет ответственность за свою работу, представленные данные и плагиат.

The author is responsible for his work, submitted data and plagiarism.

Статья поступила в редакцию 16.06.2025; одобрена после рецензирования 14.07.2025, принята к публикации 20.09.2025.

The article was submitted 16.06.2025; approved after reviewing 14.07.2025; accepted for publication 20.09.2025.

© Псюкало С.П.