

## References

1. Belov, V. V. Informacionnoe obespechenie pri issledovanii sel'skohozyajstvennyh mashin / V. V. Belov, N. N. Belova // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2010. – № 10. – S. 38-40.
2. Zajcev, P. V. Optimizaciya periodichnosti tekhnicheskogo servisa kormoprigozovitel'noj tekhniki v zhivotnovodstve / P. V. Zajcev, S. P. Zajcev, N. P. Zajceva // Perspektivy razvitiya tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom komplekse: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – CHEboksary: CHuvashskaya GSKHA, 2018. – S. 130-135.
3. Zajcev, P. V. Sostoyanie tekhnologii i ocenki metodov obnovleniya tekhniki dlya prigozovleniya kormov / P. V. Zajcev, S. P. Zajcev // Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. – 2018. – № 1 (60). – S. 572-574.
4. Nesterova, N. V. Problemy i strategicheskoe razvitie kombikormovoj promyshlennosti / N. V. Nesterova, T. V. SHaronova, T. N. Akulova // Nauchno-obrazovatel'nye i prikladnye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – CHEboksary: CHuvashskaya GSKHA, 2018. – S. 535-539.
5. SHaronova, T. V. Analiz cirkulyacionnyh smesitelej sypuchih materialov / T. V. SHaronova, E. L. Belov, T. N. Akulova // Perspektivy razvitiya mekhanizacii, elektrifikacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – CHEboksary: CHuvashskaya GSKHA, 2019. – S. 234-239.
6. SHaronova, T. V. Fizicheskie faktory v ustanovkah dlya obezrazzhivaniya sypuchih kormov / T. V. SHaronova, E. L. Belov, T. N. Akulova // Razvitie agrarnoj nauki kak vazhnejшее uslovie effektivnogo funkcionirovaniya agropromyshlennogo kompleksa strany: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 70-letiyu so dnya rozhdeniya zaslužennogo rabotnika vysshej shkoly CHuvashskoj Respubliki i Rossijskoj Federacii, doktora veterinarnyh nauk, professora Kirillova Nikolaya Kirillovicha. – CHEboksary: CHuvashskaya GSKHA, 2018. – S. 438-441.

## Information about authors

1. **Zaitsev Petr Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: zapevl@mail.ru, tel. 8-903-066-59-07;
2. **Zaitseva Nadezhda Petrovna**, Senior Lecturer, Department of Economics, Management and Agricultural Consulting, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: nad2094@yandex.ru, tel. 8-960-306-13-00;
3. **Zaitsev Sergey Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: zaycevp@mail.ru, tel. 8-902-327-56-35.

УДК 621.815

DOI: 10.17022/6fya-1p90

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СВЯЗИ КОНСТРУКТИВНЫХ И РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА

Ю.В. Иванчиков<sup>1)</sup>, В.Я. Сквородин<sup>2)</sup>, Ю.Н. Доброхотов<sup>1)</sup>, Н.Н. Пушкаренко<sup>1)</sup>, В.А. Иванов<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Чувашская государственная сельскохозяйственная академия  
428003, Чебоксары, Российская Федерация<sup>2)</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
196601, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Подшипник качения, находящийся в эксплуатации, является частью определенного механизма. Необходимо осуществить комплексный анализ его работы с учетом всех особенностей конструктивного узла или агрегата, то есть принимать во внимание функциональное назначение подшипникового узла, так как достаточная долговечность отдельных его деталей не гарантирует необходимой надежности всей опоры. Мероприятия по повышению долговечности подшипниковых узлов могут быть эффективными только в том случае, если учитываются причины, снижающие долговечность эксплуатации узла, устанавливается физическая сущность процессов, вызывающих отказ в работе, и выявляются закономерности развития этих процессов. Для выявления причинно-следственных связей между структурными параметрами подшипникового узла и действующими на подшипниковый узел силовыми факторами был проведен корреляционный анализ системы. В статье представлена матрица корреляционного анализа и его результаты в виде таблиц коэффициентов корреляции и показателей связи параметров подшипникового узла со значениями факторов внешнего воздействия.

**Ключевые слова:** долговечность, нормативно-техническая документация, структурные параметры, силовые факторы, многофакторный корреляционный анализ.

**Введение.** Надежность отремонтированных тракторов в значительной мере определяется работоспособностью узлов и агрегатов трансмиссий. В большинстве случаев отказ в работе того или иного узла или агрегата трансмиссии связан с потерей жесткости в опорах качения вследствие увеличения радиального зазора в подшипнике и нарушения плотности его посадки на вал и в корпусе [3]. Основной причиной сверхпредельного увеличения радиального зазора в подшипнике является повышенное содержание абразивных частиц в картерном масле, чему в значительной степени способствует низкое качество очистки и мойки деталей, особенно корпусных, в процессе ремонта [4]. Нарушение плотности посадки на вал и в корпусе является следствием фреттинг-коррозии. Потеря жесткости в опорах ведет к непараллельности и перекосу валов, увеличению вибрации и динамических нагрузок, чрезмерному шуму, неблагоприятному перераспределению нагрузки между телами качения, наблюдается отступление от расчетных условий работы различных передач [5].

Увеличение частоты вращения деталей основных агрегатов и возрастание передаваемого крутящего момента, характерные для тракторов нынешнего поколения, вызывает увеличение нагруженности подшипникового узла и повышение уровня вибрации, которые могут ослабить посадку и вызвать проворачивание колец относительно посадочных мест.

Стоимость комплекта подшипников составляет 1,66...4,8 % от стоимости трактора [10]. Однако за срок его службы ряд подшипников заменяется несколько раз, что значительно повышает стоимость эксплуатации трактора. За весь срок его эксплуатации затраты на замену подшипников могут превышать стоимость комплекта подшипников в 6 раз, что составляет около 30 % стоимости всего трактора. В масштабах страны эти затраты достигают значительных размеров. Естественно, что при таком расходе даже специальное увеличение долговечности подшипника и сопряженных с ним деталей позволит получить существенную экономическую выгоду. В связи с этим при разработке мероприятий по повышению долговечности подшипников качения следует иметь в виду, что каждый подшипник, находящийся в эксплуатации, является частью определенного механизма, и его работа должна анализироваться комплексно, с учетом всех особенностей данного конструктивного узла или агрегата, то есть, то есть принимать во внимание функциональное назначение подшипникового узла, так как достаточная долговечность отдельных его деталей не гарантирует необходимой надежности всей опоры.

Вопросы повышения долговечности подшипников качения тракторов до 1957 г. рассматривались в Центральном конструкторском бюро Всесоюзного научно-исследовательского института подшипниковой промышленности. Анализ данных тех лет показывает, что ресурс 87 гусеничных тракторов класса 3 составлял 3500...4200 ч. Исследование долговечности подшипников качения тракторов были продолжены в НАТИ. Источниками определения ресурса подшипников служили данные заводских испытаний на МИС, результаты стендовых испытаний в НАТИ и на заводах-изготовителях, анализ данных о рекламации расхода запасных частей и результаты выбраковки подшипников на ремонтных предприятиях. Ресурс подшипников составлял 3990 ч, что значительно меньше ресурса соответствующих агрегатов. В этих условиях особо актуальной является проблема увеличения долговечности подшипников качения и сопряженных с ним деталей [8].

О наличии серьезных проблем в области повышения долговечности подшипниковых узлов можно убедиться на следующем примере. В последние годы для отечественного машиностроения характерна тенденция к уменьшению массы производимых ответственных деталей или повышение их нагруженности. Так, на одном из тракторных заводов была опробована серия опытных образцов новой модели, у которой двигатель повышенной мощности сочетался с коробкой передач серийной модели.

Результаты опытной эксплуатации показали, что увеличение передаваемой коробкой передач номинального крутящего момента двигателя на 12,3 % и номинальной частоты вращения на 29,4 % влечет повышение интенсивности изнашивания поверхностей качения различных шариковых подшипников (при отсутствии принудительной фильтрации масла) на 61...135 %; увеличение скорости изнашивания шеек валов коробки передач, сопряженных с внутренним кольцом подшипников качения, – на 75...90 %; уменьшение средней наработки коробки передач до первого ремонта – на 20 % [7].

У тракторов, выпускаемых отечественной промышленностью, норматив надежности должен составлять 6000 моточасов, на деле в агрегатах большинства из них имеются сопряжения, входящие в состав подшипниковых узлов, с ресурсом не более 3798 моточасов [9].

Это свидетельствует о существовании серьезных проблем, связанных с увеличением ресурса узлов подшипников качения.

**Цели и задачи исследования.** Мероприятия по повышению долговечности подшипниковых узлов могут быть эффективными только в том случае, если учитываются причины, снижающие долговечность эксплуатации узлов, устанавливается физическая сущность процессов, вызывающих отказ в их работе, и выявляются закономерности развития этих процессов [6],[1].

Таблица 1 – Исходная матрица корреляционного анализа структурных параметров подшипникового узла.

Марка трактора. Наименование детали. Номер по каталогу	Т-150К				Т-150			
	Вал 150.37. 104-2	Вал 150.37. 037.2СБ	Вал 151.37. 305-4	Вал 151.37. 310-1	Вал 151.37. 310	Вал 150.37. 104-2	Вал 150.37. 037.2СБ	Вал 150.37. 037.2СБ
Наименьший размер вала по чертежу, мм	65,003	64,990	65,003	65,003	65,003	65,002	64,990	64,990
Наибольший размер вала по чертежу, мм	65,023	65,000	65,023	65,023	65,023	65,021	65,010	65,010
Вал, годный с новым подшипником, мм	64,970	64,970	64,970	94,970	64,970	64,980	64,970	64,970
Вал, годный с годным подшипником, мм	64,990	64,990	64,990	64,990	64,990	64,990	64,990	64,990
Подшипник с допустимым износом кольца, мм	65,010	65,010	65,010	65,010	65,010	65,020	65,020	65,020
Нагрузка на опору, Н	6840,000	19100,000	32400,000	17250,000	9640,000	9650,000	13796,000	13796,000
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	2100,000	2165,000	2165,000	2457,000	2427,000	2000,000	1346,000	1346,000
Крутящий момент, Н·м	583,00	959,000	1935,000	1926,000	963,000	537,000	1670,000	1670,000
Твердость посадочной поверхности, HRC	49,000	26,000	50,000	48,000	48,000	50,000	26,000	26,000
Допустимый зазор, мм	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,030	0,030
Предельный зазор, мм	0,120	0,120	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Радиальный зазор, допустимый, мм	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,100	0,150	0,150
Радиальный зазор, предельный, мм	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Натяг максимальный, мм	0,038	0,015	0,038	0,038	0,038	0,036	0,025	0,025
Натяг минимальный, мм	0,003	0,010	0,003	0,003	0,003	0,002	0,10	0,10
Вал, годный с новым подшипником, нижнего отклонения, мм	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Вал, годный с новым подшипником, верхнего отклонения, мм	0,030	0,03	0,030	0,030	0,030	0,020	0,030	0,030
Подшипник, годный с валом верхнего отклонения, мм	0,013	0,010	0,013	0,013	0,013	0,001	0,010	0,010
Подшипник, годный с валом нижнего отклонения, мм	0,007	0,020	0,007	0,007	0,007	0,018	0,030	0,030
Сопряжение годного вала с годным подшипником, мм	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,030	0,030	0,030

Таблица 2 – Матрица коэффициентов корреляции между величинами структурных параметров подшипникового узла

Структурные параметры подшипникового узла	№	Коэффициенты парной корреляции (x100) между структурными параметрами подшипникового узла																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Наименьший размер вала по чертежу	1	100																		
Наибольший размер вала по чертежу	2	94	100																	
Вал годный с новым подшипником	3	24	20	100																
Вал годный с годным подшипником	4	0	0	0	100															
Допустимый износ отверстия внутреннего кольца	5	25	21	100	0	100														
Нагрузка на опору подшипника	6	1	7	28	0	28	100													
Частота вращения вала	7	74	50	0	0	01	13	100												
Крутящий момент на валу	8	19	4	51	0	51	67	21	100											
Твердость посадочной поверхности вала	9	99	93	33	0	53	0	71	23	100										
Допустимый зазор в посадке	10	74	46	22	0	23	12	93	41	74	100									
Предельный зазор в посадке	11	14	36	22	0	21	18	19	54	5	33	100								
Допустимый радиальный зазор	12	35	17	69	0	68	33	69	13	28	56	43	100							
Радиальный зазор предельный	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100						
Максимальный натяг в сопряжении	14	94	100	20	0	21	7	50	4	93	46	14	14	0	100					
Минимальный натяг в сопряжении	15	100	94	24	0	25	1	74	19	99	74	22	35	0	94	100				
Вал годный и новый подшипник с нижним отклонением	16	24	20	100	0	100	28	0	51	33	22	22	69	0	20	24	100			
Вал годный и новый подшипник с верхним отклонением	17	24	20	100	0	100	28	0	51	33	22	22	69	0	20	24	100	100		
Годный подшипник и вал с верхним отклонением	18	28	23	100	0	100	28	2	51	36	24	22	67	0	23	28	100	100	100	
Годный подшипник вал с нижним отклонением	19	27	22	100	0	100	28	3	51	35	24	21	67	0	22	27	100	100	100	100
Сопряжение годного вала с годным подшипником	20	25	21	100	0	100	28	1	51	33	23	21	68	0	21	26	100	100	100	100

Одной из основных причин низких послеремонтных ресурсов машин и агрегатов, в том числе и подшипниковых узлов, является несовершенство нормативно-технической документации на ведение ремонтно-восстановительных работ.

Таблица 3 – Показатели связи параметров подшипникового узла с постоянными значениями внешнего воздействия и механических свойств посадочных поверхностей.

Наименование параметра и показатель связи	Твердость посадочной поверхности вала, HRC	Крутящий момент на валу, Н·м	Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	Нагрузка на узел качения, Н
Допустимый зазор в посадке	0,744	0,412	0,934	0,116
Коэффициент корреляции				
Коэффициент линейной корреляции		0,9931		
Стандартная ошибка оценки		0,0008		
Предельный зазор в посадке	0,149	0,543	0,188	0,180
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0,7458		
Стандартная ошибка оценки		0,0094		
Допустимый радиальный зазор в подшипнике	0,275	0,128	0,694	0,329
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0,7985		
Стандартная ошибка оценки		0,0573		
Предельный радиальный зазор в подшипнике	0	0	0	0
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0		
Стандартная ошибка оценки		0		
Натяг максимальный в посадке	0,929	0,038	0,495	0,074
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0,9929		
Стандартная ошибка оценки		0,0016		
Натяг минимальный в посадке	0,995	0,195	0,741	0,012
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0,9986		
Стандартная ошибка оценки		0,0005		
Сопряжение годного вала с годным подшипником	0,326	0,509	0,001	0,285
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0,6762		
Стандартная ошибка оценки		0,0040		
Сопряжение нового вала с годным подшипником	0,352	0,514	0,025	0,281
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0,6835		
Стандартная ошибка оценка		0,3934		
Сопряжение годного вала с годным подшипником	0,335	0,513	0,012	0,283
Коэффициент корреляции				
Коэффициент множественной корреляции		0,6786		
Стандартная ошибка оценки		0,3939		

Предельные и допустимые при капитальном ремонте износы деталей и их соединений должна предопределять многомерная система технико-экономических характеристик машин, их составных частей и деталей, которые разнонаправлены, разномерны, обладают статистической взаимозависимостью, случайностью и неопределенностью. В этих условиях наиболее обоснованно предельные и допустимые износы деталей и соединений можно определять только экспериментальным путем, но этот способ сложен и трудоемок. На

практике методы, приводящие к достаточно объективным результатам, но требующие большого объема исследований или вычислений, находят ограниченное применение. Предельные и допустимые при капитальном ремонте износы деталей в основном не обоснованы даже для машин, продолжительное время находящихся в эксплуатации. Об этом свидетельствуют результаты исследований взаимосвязи структурных параметров подшипникового узла.

**Материалы и методы исследований.** Для выявления причинно-следственных связей между структурными параметрами подшипникового узла и действующими на подшипниковый узел силовыми факторами был проведен корреляционный анализ системы [2],[11]. Анализировались следующие показатели наличия корреляционной связи между величинами структурных параметров элементов подшипникового узла: допустимые и предельные значения выбраковочных признаков посадочных поверхностей кольца и вала в различных сочетаниях с учетом изменения радиального зазора в подшипнике при неизменных факторах внешнего воздействия (нагрузки на опору, частоты вращения вала и передаваемого крутящего момента). При этом учитывалась твердость посадочных поверхностей валов, зафиксированная в конструкторской документации. Анализировалась информация о шасси наиболее распространенных моделей тракторов шести марок. Силовые параметры узла определялись в соответствии с заводскими нормативами.

Наличие связей между структурными параметрами подшипникового узла и действующими на него силовыми факторами определялось методом многофакторного корреляционного анализа. Исходная матрица корреляционного анализа представлена в таблице 1. В качестве примера приводятся данные статистических показателей зависимости допустимых и предельных параметров подшипника типоразмера 313 в составе узлов качения. Было исследовано 9 видов подшипниковых узлов с объемом выборки по каждой в 8...14 штук.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ матрицы коэффициентов корреляции (таблица 2) между величинами различных структурных параметров подшипникового узла и действующими на подшипниковый узел силовыми факторами и оценка их значимости показал, что в большинстве случаев корреляция между значениями этих параметров и неизменных внешних факторов очень слабая или вообще отсутствует.

Это объясняется отсутствием связи между первоначальными размерами рабочих поверхностей и величинами значений внешних факторов. Отсутствует связь и между выбраковочными параметрами. Значительная, а иногда тесная связь параметров узла с механическим свойством (твердостью) обнаружено в трех случаях (табл. 3). Это объясняется тем, что в основном при назначении максимальных и минимальных величин натяга в сопряжении разработчики ремонтной документации ориентируются на твердость посадочной поверхности.

Следует отметить, что даже новые сопряжения работают не в идеальных условиях. Они постоянно находятся в условиях повышенной запыленности воздуха, большой вибрации, высоких и резкопеременных нагрузок и частот, больших перепадов температур. Кроме того, наличие значительных изгибающих и скручивающих внешних сил, действию которых подвержены корпусные детали составных частей тракторов, а также низкая стабильность физико-химических свойств смазочных масел отрицательно сказываются на долговечности структурных элементов подшипникового узла. Поля допусков размеров восстановленных шеек в технической документации для капитального ремонта определяют по аналогии с изготовлением новых, то есть не учитываются увеличение радиального зазора и изменения посадочного размера внутреннего кольца подшипника, бывшего в эксплуатации, но годного по техническим условиям для дальнейшего использования, что при сохранении существующих полей допусков ведет к ослаблению наиболее вероятных натягов стандартных посадок и к снижению долговечности работы узла.

**Выводы.** Результаты корреляционного анализа позволяют сделать вывод о том, что при назначении границ выбраковочных параметров подшипникового узла разработчики технической документации для ремонта не принимают во внимание действия внешних факторов. Результаты анализа также показывают, что в настоящее время при разработке новой нормативно-технической документации, предназначенной для капитального ремонта, значения предельных и допустимых износов автоматически переносят из известной документации в новую. Методика использования известных опытных данных для разработки новой технической документации или корректировки действующей отсутствует. Правомочность применения известных опытных данных полностью зависит от компетентности и квалификации разработчиков или расчетчиков. Допускаются ошибки, которые приводят к существенным материальным потерям.

### Литература

1. Галахов, М. А. Расчет подшипниковых узлов / М. А. Галахов, А. Н. Бурмистров. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. Евдокимов, Ю. А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач на трение и износ / Ю. А. Евдокимов, В. И. Колесников, В. И. Тетерин. – М.: Наука, 1980. – 228 с.
3. Иванщиков, Ю. В. Влияние параметров контакта на долговечность соединений с натягом (на примере подшипниковых посадок) / Ю. В. Иванщиков, Ю. Н. Доброхотов, Р. В. Андреев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017 – № 1(1) – С. 57 - 63.

4. Калентичев, П. В. Исследование причин отказов узлов подшипников качения сельскохозяйственных тракторов / П. В. Калентичев, Ю. В. Иванчиков, Р. В. Андреев // Молодежь и инновации: сборник статей XV Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская ГСХА, 2019. – С. 350-355.
5. Кашуба, Б. П. Влияние условий эксплуатации на ресурс элементов шасси трактора Т-150К / Б. П. Кашуба, В. Г. Кухтов, Р. В. Кугель // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 4. – С. 5 - 8.
6. Крагельский, И. В. Узлы трения машин / И. В. Крагельский, Н. И. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
7. Кугель, Р. В. Материалоемкость машин и экономия материалов в народнохозяйственном аспекте / Р. В. Кугель, С. С. Дмитриченко, В. А. Ротенберг // Вестник машиностроителя. – 1988. – № 9. – С. 3-9.
8. Псюкало, С. П. Восстановление ресурса радиального шарикоподшипника / С. П. Псюкало, А. А. Серегин // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник материалов Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 2 – Ставрополь: СГАУ, 2006 – С.59 - 62.
9. Пушкаренко, Н. Н. Проблемы технического сервиса в сельском хозяйстве и возможные пути их решения / Н. Н. Пушкаренко, Ю. В. Иванчиков // Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская ГСХА, 2018. – С.228 - 234.
10. Ракин, Я. Ф. Эксплуатация подшипниковых узлов машин / Я. Ф. Ракин. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 191 с.
11. Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 957 с.

#### *Сведения об авторах*

1. **Иванчиков Юрий Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: iuv53@mail.ru, тел. 89278640063;
2. **Сковородин Василий Яковлевич**, доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2; e-mail: V.Y.Skovorodin@qmal.com, тел: 89213060850;
3. **Доброхотов Юрий Николаевич**, доцент кафедры технического сервиса, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: dobrokhotov47@mail.ru, тел. 89196742554;
4. **Пушкаренко Николай Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, декан инженерного факультета, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: stl\_mstu@mail.ru, тел. 89063854191;
5. **Иванов Владимир Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: Vladimir21va@mail.ru, тел: 89063844762.

#### **STUDY OF FUNCTIONAL COMMUNICATION OF CONSTRUCTIVE AND OPERATING PARAMETERS OF A BEARING UNIT**

**Yu.V. Ivanshchikov<sup>1)</sup>, V.Ya. Skovorodin<sup>2)</sup>, Yu.N. Dobrokhotov<sup>1)</sup>, N.N. Pushkarenko<sup>1)</sup>, V.A. Ivanov<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Chuvash State Agricultural Academy  
428003, Cheboksary, Russian Federation*

<sup>2)</sup> *St. Petersburg State Agrarian University,  
196601, St. Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** *The rolling bearing in use is part of a specific mechanism. It is necessary to carry out a comprehensive analysis of its operation, taking into account all the features of the structural unit or assembly, that is, take into account the functional purpose of the bearing assembly, since the sufficient durability of its individual parts does not guarantee the necessary reliability of the entire support. Measures to increase the durability of the bearing assemblies can be effective only if the reasons that reduce the durability of the operation of the assembly are taken into account, the physical nature of the processes that cause the failure to work is established, and the patterns of development of these processes are revealed. To identify causal relationships between the structural parameters of the bearing assembly and the force factors acting on the bearing assembly, a correlation analysis of the system was carried out. The article presents the matrix of correlation analysis and its results in the form of tables of correlation coefficients and indicators of the relationship between the parameters of the bearing units and the values of external factors.*

**Key words:** *durability, normative and technical documentation, structural parameters, power factors, multivariate correlation analysis.*

## References

1. Galahov, M. A. Raschet podshipnikovyh uzlov / M. A. Galahov, A. N. Burmistrov. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 272 s.
2. Evdokimov, YU. A. Planirovanie i analiz eksperimentov pri reshenii zadach na trenie i iznos / YU. A. Evdokimov, V. I. Kolesnikov, V. I. Teterin. – M.: Nauka, 1980. – 228 s.
3. Ivanshchikov, YU. V. Vliyanie parametrov kontakta na dolgovechnost' soedinenij s natyagom (na primere podshipnikovyh posadok) / YU. V. Ivanshchikov, YU. N. Dobrohotov, R. V. Andreev // Vestnik Chuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2017 – № 1(1) – S. 57 - 63.
4. Kalentichev, P. V. Issledovanie prichin otkazov uzlov podshipnikov kacheniya sel'skohozyajstvennyh traktorov / P. V. Kalentichev, YU. V. Ivanshchikov, R. V. Andreev // Molodezh' i innovacii: sbornik statej XV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii. – Cheboksary: Chuvashskaya GSKHA, 2019. – S. 350-355.
5. Kashuba, B. P. Vliyanie uslovij ekspluatatsii na resurs elementov shassi traktora T-150K / B. P. Kashuba, V. G. Kuhtov, R. V. Kugel' // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. – 1982. – № 4. – S. 5 - 8.
6. Kragel'skij, I. V. Uzly treniya mashin / I. V. Kragel'skij, N. I. Mihin. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 280 s.
7. Kugel', R. V. Materialoemkost' mashin i ekonomiya materialov v narodnohozyajstvennom aspekte / R. V. Kugel', S. S. Dmitrichenko, V. A. Rotenberg // Vestnik mashinostroitelya. – 1988. – № 9. – S. 3-9.
8. Psyukalo, S. P. Vosstanovlenie resursa radial'nogo sharikopodshipnika / S. P. Psyukalo, A. A. Seregin // Aktual'nye problemy nauchno-tehnicheskogo progressa v APK: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. V 2 ch. CH. 2 – Stavropol': SGAU, 2006 – S.59 - 62.
9. Pushkarenko, N. N. Problemy tekhnicheskogo servisa v sel'skom hozyajstve i vozmozhnye puti ih resheniya / N. N. Pushkarenko, YU. V. Ivanshchikov // Perspektivy razvitiya tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom komplekse: sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii. – Cheboksary: Chuvashskaya GSKHA, 2018. – S.228 - 234.
10. Rakin, YA. F. Ekspluatatsiya podshipnikovyh uzlov mashin / YA. F. Rakin. – M.: Rosagropromizdat, 1990. – 191 s.
11. Himmel'blau, D. Analiz processov statisticheskimi metodami / D. Himmel'blau. – M.: Mir, 1973. – 957 s.

## Information about authors

1. **Ivanshchikov Yuri Vasilievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technical Service, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: iuv53@mail.ru, tel. 89278640063;

2. **Skovorodin Vasily Yakovlevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technical Services, St. Petersburg State Agrarian University, 196601, St. Petersburg - Pushkin, St. Petersburg Highway, 2, e-mail: VYSkovorodin@qmal.com, tel: 89213060850;

3. **Dobrohotov Yuri Nikolaevich**, Associate Professor, Department of Technical Service, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: dobrohotov47@mail.ru, tel. 89196742554;

4. **Pushkarenko Nikolay Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: stl\_mstu@mail.ru, tel. 89063854191;

5. **Ivanov Vladimir Andreevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Technical Service Department, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29; e-mail: Vladimir21va@mail.ru, tel: 89063844762.

УДК 631.311

DOI: 10.17022/fs5z-gg95

**ВЫНУЖДЕННЫЕ АВТОКОЛЕБАНИЯ ПОДПОКРОВНОГО РЫХЛИТЕЛЯ****Ю.Ф. Казаков, В.И. Медведев, В.С. Павлов, А.Ю. Петров***Чувашская государственная сельскохозяйственная академия  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** Статья посвящена выявлению методов управления вибрационным воздействием почвообрабатывающего рабочего органа на почву при подпокровном рыхлении и факторов, влияющих на эффективность его работы. В результате кинематического и динамического анализа взаимодействия рабочего органа и почвы были решены следующие научные задачи: получено уравнение движения кротователя и произведен его анализ; рассмотрен энергетический баланс возмущающей и демпфирующей сил; определены условия формирования устойчивых автоколебаний. Было установлено, что подпружиненный кротователь в виде конической пружины минимизирует размеры области уплотнения прилегающего почвенного пласта, неизбежного в результате его взаимодействия с рабочим органом. Разрушение связей в почвенном массиве