

7. Tolochko N. K., Nukeshev S. O., Romanyuk N. N., Khlynov V. N. Progressive technologies of technical service in agriculture: a textbook. Nur-Sultan: KazATU named after S. Seifullin, 2020. 171 p.
8. Zorin V. A., Stepanov P. V., Styskin M. M., Tregubov P. G., Baurova N. I. System of proactive remote maintenance of ground transport and technological machines. Renovations. Recovery. Modernization. 2021. № 5. Pp. 25-27.
9. Martynov B. G., Taraban M. V., Mozikov M. D. On the issue of managing a proactive maintenance system in modern conditions. Collection of works of scientific-technical conf. Institute of Technological Machinery and Forest Transport. St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University, 2022. Pp. 303-307.
10. Sai Wang Kwong, Shcherbakov M. V. Architecture of predictive maintenance system of complex multi-object systems in Industry 4.0 concept. Software Products and Systems 2020. V. 33. № 2. Pp. 186-194.
11. Ferapontova M. V., Starodubets A. A., Glovetkin A. S. Proactive or preventing maintenance. Collection of scientific-practical materials. conf. Petrozavodsk: ICNP "New Science," 2020. Pp. 132-135.
12. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines. Research Papers. 2018. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/153.
13. Nguyen K.-A., Do P., Grall A. Multi-level predictive maintenance for multi-component systems. Reliability engineering & system safety. 2015. V. 144. Pp. 83–94.
14. Ran Y., Zhou X., Lin P., Wen Y. R. A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. № 20. Pp. 1-36. <https://arxiv.org/pdf/1912.07383.pdf>.

Информация об авторах

Помогаев Виталий Михайлович, кандидат экономических наук, доцент кафедры технического сервиса, механики и электротехники факультета технического сервиса в АПК, ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина» (Российская Федерация, 644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, д. 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Author's Information

Pomogaev Vitaly Mikhailovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Service, Mechanics and Electrical Engineering, Faculty of Engineering Service in the Agro-Industrial Complex, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin (Russian Federation, 644008, Omsk, Institutskaya Square, 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-55

FAULT DETECTION OF CONNECTING JOURNALS AND MAIN JOURNALS OF THE CRANKSHAFT

G. N. Temasova, O. A. Leonov, A. N. Samordin, D. O. Leonov

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: temasova@rgau-msha.ru

Received 17.08.2023

Submitted 10.10.2023

Summary

The article deals with the problems associated with the defectiveness of the connecting rod and main journals of the crankshaft, and also presents a mathematical description of this process, taking into account the control of dimensions, shape and location of surfaces. The studies were carried out at the repair enterprises of the agro-industrial complex. Determining the condition of parts after fault detection is an important step in the repair process. This determines whether parts can be machined to repair size or should be rejected. To more accurately determine the condition of defective parts, a tool was developed for monitoring and analyzing dimensions and shape deviations. This tool allows you to evaluate defects in more detail and determine how critical they are for the further use of the part.

Abstract

Introduction. In the context of import substitution and resource conservation in machine-building production, the control of internal combustion engine parts is becoming increasingly important. If foreign engines cannot be repaired, then domestic engines can be repaired. When repairing engines, important parts that require fault detection are the cylinder block, crankshaft, camshaft, cylinder head, connecting rods and other expensive and heavily loaded parts. The loss or incorrect diagnosis of the condition of one of these parts can significantly increase the cost of a repaired engine. Therefore, fault detection operations should be thorough, competent and require the use of accurate measuring instruments. Metrological support of the repair process is a paramount task to prevent significant risks arising from the control and fault detection of engines. **Object.** The object of research is the operation of defective parts in the repair industry. **Materials and methods.** The studies were carried out at the repair enterprises of the agro-industrial complex during the fault detection of parts. The mathematical description of the defect detection process is carried out in the form of inequalities. **Results and conclusions.** In the process of flaw detection, it is necessary to control not only the dimensions of the parts, but also their shape and surface arrangement. The wear of individual elements of parts occurs faster than others. This is due to the operating conditions. As a result of fault detection of parts, it is possible to determine whether they can be processed to the repair size or should be rejected. A tool for monitoring and analyzing dimensions and shape deviations was developed, which will allow more accurate determination of the condition of the defective part.

Key words: *defect detection of parts, defect detection conditions, fault detection planes, defect detection checklist.*

Citation. Temasova G. N., Leonov O. A., Samordin A. N., Leonov D. O. Fault detection of connecting journals and main journals of the crankshaft. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 547-555 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-55.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 658.562.64

ДЕФЕКТАЦИЯ ШАТУННЫХ И КОРЕННЫХ ШЕЕК КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Г. Н. Темасова, кандидат экономических наук, доцент

О. А. Леонов, доктор технических наук, профессор

А. Н. Самордин, соискатель

Д. О. Леонов, магистрант

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. В условиях импортозамещения и экономии ресурсов в машиностроительном производстве контроль деталей двигателей внутреннего сгорания становится все более важным. Если зарубежные двигатели не подлежат ремонту, то отечественные двигатели являются ремонтпригодными. При ремонте двигателей важными деталями, требующими дефектации, являются блок цилиндров, коленчатый вал, распределительный вал, головка блока цилиндров, шатуны и другие дорогостоящие и интенсивно нагруженные детали. Потеря или неправильное определение состояния одной из этих деталей может значительно увеличить стоимость отремонтированного двигателя. Поэтому проведение операций дефектации должно быть тщательным, грамотным и требовать применения точных измерительных инструментов. Метрологическое обеспечение процесса ремонта является первостепенной задачей для предотвращения значительных рисков, возникающих при контроле и дефектации двигателей. **Объект.** Объектом исследований являются операции дефектации деталей в ремонтном производстве. **Материалы и методы.** Исследования проводились на ремонтных предприятиях агропромышленного комплекса при дефектации деталей. Математическое описание процесса дефектации проведено в

виде неравенств. **Результаты и выводы.** В процессе дефектации необходимо контролировать не только размеры деталей, но и их форму, и расположение поверхностей. Износ отдельных элементов деталей происходит быстрее, чем других. Это происходит из-за условий эксплуатации. В результате дефектации деталей можно определить, могут ли они быть обработаны до ремонтного размера или должны быть забракованы. Был разработан инструмент контроля и анализа размеров и отклонений формы, который позволит более точно определить состояние дефектуемой детали.

Ключевые слова: дефектация деталей, условия дефектации, плоскости дефектации, контрольный листок дефектации.

Цитирование. Темасова Г. Н., Леонов О. А., Самордин А. Н., Леонов Д. О. Дефектация шатунных и коренных шеек коленчатого вала. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 547-555. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-55.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется вопросам контроля деталей при их изготовлении на специализированных машиностроительных предприятиях, которые серийно или массово выпускают комплектующие к конвейерной сборке и запасные части, используемые при ремонте машин [1-3]. Для этих целей в СССР был разработан ряд нормативных документов, которые с успехом применяются и сейчас [4, 5].

Самым дорогим и интенсивно нагруженным агрегатом в любой машине является двигатель внутреннего сгорания. В большинстве случаев двигатели зарубежной техники не подлежат восстановлению и ремонту из-за применения тонкостенных гильз, более узких коренных опор и блоков цилиндров из алюминиевых сплавов, такая политика в зарубежном машиностроении нацелена на решение двух основных перспективных вопросов – снижение удельной массы двигателя в расчете на единицу выдаваемой мощности и ускорение обновления модельного ряда двигателей, т.к. будет покупаться новый модернизированный двигатель взамен старого, что приносит дополнительную прибыль машиностроительному предприятию. В свою очередь, двигатели отечественной техники являются ремонтнопригодными и на специализированных ремонтных предприятиях осуществляется ремонт двигателей с полной разборкой на детали. После разборки детали проходят очистку (мойку) и дефектацию.

Основными важнейшими деталями двигателя внутреннего сгорания, которые проходят дефектацию являются: блок цилиндров, коленчатый вал, распределительный вал, головка блока цилиндров, шатуны и т.д. Отсюда ясно, что потеря одной из этих деталей при ремонте увеличивает стоимость отремонтированного двигателя. Поэтому операции дефектации должны проводиться тщательно, грамотно и с применением средств измерений требуемой точности. С другой стороны, если изношенная деталь будет принята как годная к дальнейшей эксплуатации, а ее размер (имеются ввиду детали с поверхностью типа «вал») будет меньше допускаемого, то возможен более ранний выход из строя такой детали. Если деталь будет признана негодной к дальнейшей эксплуатации, то вместо нее приобретается новая и идет на сборку.

Детали, имеющие поверхности типа «вал», например коренные и шатунные шейки коленчатых валов и кулачки с шейками распределительных валов, могут быть обработаны на специализированном оборудовании под ремонтные размеры. Соответственно приобретаются вкладыши (для установки коленчатого вала) и опоры (для распределительного вала) ремонтного размера.

Метрологическое обеспечение процесса ремонта является первостепенной задачей при недопущении значительных рисков, появляющихся в результате контроля и дефектации [6, 7]. Главную роль в этом процессе играет выбор средств измерений в плане оценки погрешности [8, 9], а также само рассеяние измеряемых параметров [10-12]. С другой стороны, существенное значение имеют и заранее назначенные места измерений, а также методика проведения дефектации.

Целью наших исследований является математическое описание процесса дефектации и разработка инструмента для анализа размеров и отклонений формы дефектуемых деталей.

Материалы и методы. Объектом исследований являются операции дефектовки деталей в ремонтном производстве. Исследования проводились на ремонтных предприятиях агропромышленного комплекса.

Дефектация, как метод контроля изношенных поверхностей состоит из ряда важных этапов [13]:

- внешний осмотр, когда выявляются критические дефекты – трещины и сколы, задиры и царапины, выкрашивание и выгорание части поверхностей и т.д.);
- контроль размеров и выявление ожидаемых дефектов;
- контроль размеров и выявление мало ожидаемых дефектов;
- дефектоскопия с целью обнаружения скрытых дефектов – трещин и раковин;
- возможен контроль шероховатости изношенной поверхности детали.

При дефектации коленчатого вала (коленвала) определяются действительные размеры поверхностей коренных и шатунных шеек в тех плоскостях и сечениях, которые имеют наибольший износ, после чего делается заключение о состоянии исследуемой поверхности. Обобщенно можно сформировать четыре вида заключений о годности вала к дальнейшей эксплуатации:

- если размеры всех шатунных и коренных шеек находятся в пределах заданных отклонений, то коленвал считается годным;
- если размеры всех шатунных и коренных шеек больше установленных допустимых, то коленвал считается годным;
- если размер хотя бы одной шатунной или коренной шейки вышел за рамки допустимых размеров, то коленчатый вал требует восстановления, причем под конкретный ремонтный размер идет обработка всех одноименных шеек, например – коренных под 1-й ремонтный размер, а шатунных – под 2-й у одного вала;
- если размер хотя бы одной шатунной или коренной шейки вышел за рамки предельного – вал сдается в утиль и приобретает новый.

Результаты и обсуждение. Произведем математическое описание процесса дефектации в виде неравенств и с учетом того, что в процессе дефектации вместе с размерами необходимо контролировать отклонения формы и расположения поверхностей, и если полученные значения выше допустимых, то по валу делается соответствующее заключение.

В соответствии с изложенным методическим подходом, можно сформировать математические условия принятия решения для валов:

- 1) при условии $d_{\min} \leq d_{u\min} \leq d_{\max}$ и $\Delta_{\max} \leq \Delta$ – элемент вала годен;
- 2) при условии $d_{u\min} \geq d_{\text{доп}}$ и $\Delta_{\max} \leq \Delta$ – элемент вала годен;
- 3) при условии $d_{\text{пр}} \leq d_{u\min} \leq d_{\text{доп}}$ и/или $\Delta_{\max} \geq \Delta$ – элемент ремонтпригоден;
- 4) при условии $d_{\min} \leq d_{\text{пр}}$ – выбраковка вала в металлолом,

где $d_{u\min}$ – наименьший размер элемента, полученный в результате дефектации; $d_{\text{доп}}$ – допускаемый размер, установленный в нормативной документации, если его нет, то принимается $d_{\text{доп}} = d_{\min}$; $d_{\text{пр}}$ – предельный размер; $\Delta_{\max}$ – наибольшее установленное отклонение формы или расположения поверхностей в результате дефектации; Δ – нормируемое в нормативной документации отклонение формы или расположения поверхностей.

Условие 2 в настоящее время используется для шеек коленвала, так как исчезло понятие гамма-процентный ресурс, который закладывался при капитальном ремонте двигателя в СССР. Это позволяло сделать отступления от наименьшего размера диаметра шейки вала на определенную величину с учетом того, что будет выполнено соединение с новой сопрягаемой деталью и обеспечится заданная надежность на весь период эксплуатации до следующего капитального ремонта. Сейчас уходит и термин капитальный ремонт двигателя, так как такой ремонт предполагает максимально возможное обновление всех узлов и агрегатов двигателя, а это дорого.

Исходя из особенностей износа коренных и шатунных шеек коленвала при контроле и дефектации назначаются плоскости и сечения, представленные на рисунках 1, 2 а, б и 3 а, б (в соответствии с ГОСТ 18509-88).

Шатунные шейки коленвала измеряются в двух сечениях по двум плоскостям – параллельно плоскости кривошипа (S1) и перпендикулярно (S2), (рисунок 1 и 2 а,б).



Рисунок 1 – Плоскости дефектации шатунных шеек коленвала
Figure 1 – The plane of the defect of the crankshaft connecting rod journals

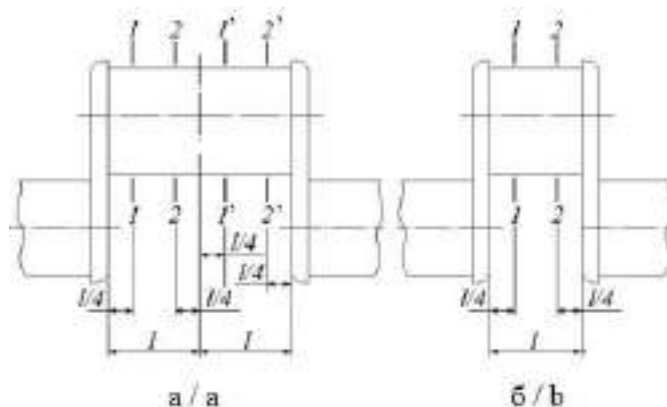


Рисунок 2 – Сечения дефектации шатунных шеек коленвала при наличии на шейке двух (а) и одного шатуна (б)
Figure 2 – Cross-sections for defect detection of connecting rod journals of the crankshaft in the presence of two (a) and one connecting rod (b) on the neck

Коренные шейки следует дефектовать в двух сечениях по двум или трем плоскостям (через 90° или 60°). Плоскость S1 – в плоскости кривошипа первой шатунной шейки, рисунок 3.

Сечения контроля коренной и шатунной шеек находятся у концов на расстоянии 1/4 ее общей длины, первым считается сечение от носка коленчатого вала.

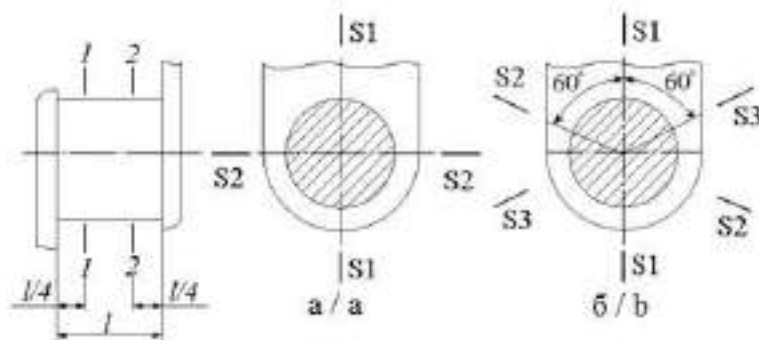


Рисунок 3 – Сечения и плоскости при дефектации коренных шеек коленвала для случаев расположения шатунных шеек под углом 90° и 180° (а) и 120° (б)

Figure 3 – Sections and planes in case of defective crankshaft main journals for cases where the connecting rod journals are located at an angle of 90° and 180° (a) and 120° (b)

Если диаметр шейки не удовлетворяет указанным условиям, то делаются рекомендации по ее обработке под один из ремонтных (Р) или дополнительных (Д) размеров, при соблюдении условия

$$d_{\text{пр}} \leq d_{\text{umin}} - q,$$

где $q = 0,06$ мм – припуск на обработку.

Если хотя бы по одной из шеек это условие не выполняется, то коленчатый вал выбраковывается или шейки восстанавливаются под номинальный размер, при условии, что оборудование для восстановления имеется на предприятии. Обычно такого оборудования нет и покупается новый вал в виде запасной части.

Рассмотрим пример дефектации коренных и шатунных шеек коленвала двигателя ЯМЗ – 238. Для удобства анализа контролируемых размеров был разработан контрольный листок (таблица 1).

Таблица 1 – Контрольный листок дефектации коленчатого вала двигателя ЯМЗ – 238

Table 1 – Checklist for defect detection of the crankshaft of the engine YaMZ -238

Действительный диаметр шейки / Actual diameter of crankshaft journals	Значение, мм / Value, mm	Отклонение формы, мм / Shape deviation, mm		Заключе- ние / Conclusion
		конусообраз- ность / taper	овальность / ovality	
1	2	3	4	5
Первая коренная шейка Ø110 _{-0,022} / First main journal of the crankshaft Ø110 _{-0,022}				
В сечении 1 и плоскости S1 / In section 1 and plane S1	109,92 / 109.92	0,01	0,02	Обработка под ре- монтный размер / Processing for repair size
В сечении 2 и плоскости S1 / In section 2 and plane S1	109,94 / 109.94	в плоскости S1 / 0.01 in plane S1	в сечении 1-1 / 0.02 in section 1-1	
В сечении 1 и плоскости S2 / In section 1 and plane S2	109,90 / 109.90	0,01	0,01	
В сечении 2 и плоскости S2 / In section 2 and plane S2	109,93 / 109.93	в плоскости S2 / 0.01 in plane S2	в сечении 2-2 / 0.01 in section 2-2	
В сечении 1 и плоскости S3 / In section 1 and plane S3	109,95 / 109.95	0,015	-	
В сечении 2 и плоскости S3 / In section 2 and plane S3	109,92 / 109.92	в плоскости S3 / 0.015 in plane S3		

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Первая шатунная шейка $\varnothing 88_{-0,022}$ / First connecting rod journal of the crankshaft $\varnothing 88_{-0,022}$				
В сечении 1 и плоскости S1 / In section 1 and plane S1	87,84 / 87.84	0,02 в плоскости S1 / 0.02 in plane S1	0,025 в сечении 1-1 / in 0.025 section 1-1	Обработка под ре- монтный размер / Processing for repair size
В сечении 2 и плоскости S1 / In section 2 and plane S1	87,88 / 87.88			
В сечении 1 и плоскости S2 / In section 1 and plane S2	87,89 / 87.89	0,01 в плоскости S2 / 0.01 in plane S2	0,015 в сечении 2-2 / in 0.015 section 2-2	
В сечении 2 и плоскости S2 / In section 2 and plane S2	87,91 / 87.91			

Из данных контрольного листка видно, что износ коренной шейки протекает медленнее, чем шатунной, которая имеет наибольшие величины износа в плоскости S1. Это связано с тем, что именно в этой плоскости наибольшее давление на шатунную шейку в такте сжатия и такте разряжения. Из-за этого износа шатунной шейки именно в верхней части возможно снижение радиуса кривошипа. Коренная шейка изнашивается достаточно равномерно.

В результате дефектации данных шеек ясно, что они могут быть обработаны под ремонтный размер – для коренной $\varnothing 109,75_{-0,022}$, и для шатунной $\varnothing 87,75_{-0,022}$.

Заключение. Таким образом, произведено математическое описание процесса дефектации в виде неравенств и с учетом того, что в процессе дефектации вместе с размерами необходимо контролировать отклонения формы и расположения поверхностей. Разработан контрольный листок для анализа размеров и отклонений формы каждой шейки дефектуемого коленчатого вала. Приведен пример дефектации первой коренной и первой шатунной шейки коленчатого вала двигателя ЯМЗ.

Conclusions. A mathematical description of the flaw detection process has been made in the form of inequalities and taking into account the fact that in the process of flaw detection, along with dimensions, it is necessary to control deviations in the shape and location of surfaces. A checklist has been developed to analyze the dimensions and shape deviations of each journal of the defective crankshaft. An example of fault detection of the first main and first connecting rod journal of the crankshaft of the YaMZ engine is given.

Библиографический список

1. Белов В. В., Лопатин А. К. Алгоритм оценки геометрических параметров изделий, находящихся на конвейерной ленте. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 6 (34). С. 34-42.
2. Белов В. В., Лопатин А. К. Формирование смесей алгоритмов для решения задачи автоматического измерения размеров изделий на конвейерной ленте. Cloud of Science. 2017. Т. 4. № 3. С. 384-394.
3. Леонов О. А., Шкаруба Н. Ж. Нормирование погрешности косвенных измерений при приёмо-сдаточных испытаниях двигателей. Измерительная техника. 2022. № 8. С. 23-27.
4. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051-81) РД 50-98-86: методические указания. М.: Издательство стандартов, 1987. 80 с.
5. Бондарева Г. И. Основы проектирования операций входного контроля на машиностроительных предприятиях. Москва: ООО "ОнтоПринт", 2020. 89 с.
6. Шкаруба Н. Ж. Совершенствование метрологического обеспечения ремонтного производства агропромышленного комплекса: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 2019. 274 с.
7. Шкаруба Н. Ж. Управление рисками измерительных процессов в ремонтном производстве. Международный технико-экономический журнал. 2018. № 6. С. 77-82.

8. Карпузов В. В., Шкаруба Н. Ж., Сапожников И. И., Антонова У. Ю. Выбор средств измерений для входного контроля качества поршней в условиях ремонтного производства. *Международный технико-экономический журнал*. 2018. № 4. С. 83-89.

9. Чигрик Н. Н. Исследование влияния погрешности средства измерений на параметры разбраковки и точность технологического процесса при измерительном контроле высоты поршневых колец автомобильного двигателя. *Омский научный вестник*. 2014. № 2 (130). С. 86-92.

10. Чигрик Н. Н. Оценка точности элементных размеров деталей цилиндро-поршневой группы автомобильного двигателя ЗМЗ-511.10. *Омский научный вестник*. 2013. № 2 (120). С. 123-132.

11. Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Оценка технического состояния головок блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 и рекомендации по её восстановлению. *Пермский аграрный вестник*. 2019. № 2 (26). С. 24-33.

12. Вергазова Ю. Г., Чепурин А. В., Черкасова Э. И., Антонова У. Ю. Оценка точности измерений шейки под шкив коленчатого вала двигателя ЯМЗ 38. *Сельский механизатор*. 2022. № 12. С. 38-40.

13. Леонов О. А., Голиницкий П. В., Антонова У. Ю. и др. Выбор средств измерений для дефектации коренных опор двигателя ЯМЗ. *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. № 6. С. 59-63.

References

1. Belov V. V., Lopatin A. K. Algorithm for estimating geometric parameters of products on a conveyor belt. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2016. № 6 (34). Pp. 34-42.

2. Belov V. V., Lopatin A. K. Formation of mixtures of algorithms for solving the problem of automatic measurement dimensions of products on a conveyor belt. *Cloud of Science*. 2017. Vol. 4. No 3. Pp. 384-394.

3. Leonov O. A., Shkaruba N. J. Normalization of the error of indirect measurements during acceptance tests of engines. *Measuring technique*. 2022. No 8. Pp. 23-27.

4. Selection of universal measuring instruments of linear dimensions up to 500 mm (according to GOST 8.051-81): RD 50-98-86 Methodological guidelines. Moscow: Publishing House of Standards, 1987. 80 p.

5. Bondareva G. I. Fundamentals of designing input control operations at machine-building enterprises. Moscow: OntoPrint LLC, 2020. 89 p.

6. Shkaruba N. J. Improvement of metrological support of repair production of the agro-industrial complex : specialty 05.20.03 "Technologies and means of maintenance in agriculture" : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow, 2019. 274 p.

7. Shkaruba N. J. Risk management of measuring processes in repair production. *International Technical and Economic Journal*. 2018. No 6. Pp. 77-82.

8. Karpuzov V. V., Shkaruba N. J., Sapozhnikov I. I., Antonova U. Yu. Selection of measuring instruments for input quality control of pistons in the conditions of repair production. *International Technical and Economic Journal*. 2018. No 4. Pp. 83-89.

9. Chigrik N. N. Investigation of the influence of the error of the measuring instrument on the parameters of the disassembly and the accuracy of the technological process during the measuring control of the height of the piston rings of an automobile engine. *Omsk Scientific Bulletin*. 2014. No 2(130). Pp. 86-92.

10. Chigrik N. N. Evaluation of the accuracy of the element dimensions of the parts of the cylinder-piston group of the ZMZ-511.10 automobile engine. *Omsk Scientific Bulletin*. 2013. № 2 (120). Pp. 123-132.

11. Senin P. V., Rakov N. V., Makeikin A. M. Evaluation of the technical condition of cylinder heads engine ZMZ-406 and recommendations for its restoration. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019. № 2 (26). Pp. 24-33.

12. Vergazova Yu. G., Chepurin A. V., Cherkasova E. I., Antonova U. Yu. Evaluation of the accuracy of measurements of the neck under the crankshaft pulley of the YAMZ 38 engine. *Rural mechanizer*. 2022. No 12. Pp. 38-40.

13. Leonov O. A., Golinitzky P. V., Antonova U. Yu., et al. The choice of measuring instruments for the defect of the main supports of the YAMZ engine. *Agroengineering*. 2022. Vol. 24. No 6. Pp. 59-63.

Информация об авторах

Темасова Галина Николаевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>, e-mail: temasova@rgau-msha.ru

Леонов Олег Альбертович, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, e-mail: oaleonov@rgau-msha.ru

Самордин Андрей Николаевич, соискатель ученой степени кандидата наук кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), e-mail: samordin@rgau-msha.ru

Леонов Дмитрий Олегович, студент магистратуры по направлению стандартизация и метрология, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), e-mail: msau.l@yandex.ru

Author's Information

Temasova Galina Nikolaevna, Ph.D. of Economy sciences, Associate Professor of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0555-2758>, e-mail: temasova@rgau-msha.ru

Leonov Oleg Albertovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, e-mail: oaleonov@rgau-msha.ru

Samordin Andrey Nikolaevich, applicant for the degree of candidate of sciences, Senior Lecturer of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), e-mail: samordin@rgau-msha.ru

Leonov Dmitriy Olegovich, 2nd year Master's degree student in standardization and Metrology of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), e-mail: msau.l@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-56

DEVELOPMENT OF A PROBABILISTIC MATHEMATICAL MODEL OF THE SOYBEAN SEED SEPARATION PROCESS IN A GRAVITY COLUMN

V. G. Khamuev, S. A. Gerasimenko

Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: stanislav.mkm@gmail.com

Received 25.09.2023

Submitted 26.10.2023

The research was carried out within the framework of the state task FGUN-2022-0007 "To develop innovative complexes of machines with robotic elements for breeding and seed production of cereals, legumes, and mass crops using electrophysical methods of exposure" for 2022–2024. Funding was allocated by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Summary

The article presents research on the development of a probabilistic mathematical model of the soybean seed separation process in a gravity column. As a result, a mathematical model was obtained describing the separation process on concave curved surfaces (combs), taking into account the geometric characteristics of the combs and columns and the effect of the vibration coefficient of the comb bars