

**К.Т. Шеров, А.А. Сагитов, М.Т. Усербаев, А.К. Шеров, Г.М. Тусупбекова**

*Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан*  
(E-mail: [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru), [almat1990@mail.ru](mailto:almat1990@mail.ru), [usermur@mail.ru](mailto:usermur@mail.ru), [sherov\\_ak@mail.ru](mailto:sherov_ak@mail.ru), [gulim\\_tus@mail.ru](mailto:gulim_tus@mail.ru))

## **Способ повышения износостойкости металлорежущих инструментов**

**Аннотация.** В отечественных машиностроительных производствах существуют проблемы расхода металлорежущего инструмента при механической обработке из-за износа режущих кромок. Особенно это наблюдается при изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов. На решение данной проблемы направлена реализация проекта АР14972884 «Повышение износостойкости металлорежущих инструментов методом приработки».

Предварительная приработка как метод повышения стойкости и надежности инструмента экономически оправдана применительно к дорогостоящему инструменту, работа которых сопряжена с большими материально-техническими затратами. Приводятся результаты исследования при эксплуатации червячных фрез из Р5М5Ф для обработки зубчатых колес  $m=6,0$  мм из стали 12ХГСА. А также экспериментальные результаты, отражающие влияние скорости предварительной приработки на стойкость модульной червячной фрезы из Р6М5Ф,  $m = 10$  мм при обработке зубчатого колеса из стали 40Х. Результаты исследования свидетельствуют о том, что метод предварительной приработки металлорежущего инструмента можно рассматривать как один из эффективных способов повышения стойкости инструмента.

**Ключевые слова:** износ, надежность, износостойкость инструмента, метод предварительной приработки, вторичная структура

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-141-149](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-140-3-141-149)

### **Введение**

Эффективность машиностроительного производства определяется многими факторами, среди которых важное место занимает металлорежущий инструмент. Большая часть отказов инструмента (до 75 %) происходит вследствие износа режущих кромок [1].

Особенно это наблюдается при обработке труднообрабатываемых материалов, которая широко используется во всех отраслях промышленности, поскольку для этих материалов трудоемкость обработки заготовки соизмерима с ресурсом инструмента [2].

Глобальная интеграция отечественных и зарубежных производителей привела к увеличению использования в отечественной промышленности зарубежной техники. В связи с этим в производствах все большее применение находят новые материалы, отличающиеся по химическому составу и механическим свойствам. Механическая обработка таких материалов также отрицательно влияет на расход металлорежущих инструментов. Так как ошибки, допускаемые при назначении режимов резания и выборе материала режущей части инструмента, из-за отсутствия соответствующих рекомендаций в имеющихся справочно-технических источниках, приводят к преждевременному износу или поломке режущей кромки.

Положение еще больше усугубляется тем, что для стран (в число которых относится Казахстан), которые не имеют собственных инструментальных производств приходится металлорежущие инструменты закупать с высокой (завышенной) стоимостью от зарубежных производителей. Все это приводит к увеличению себестоимости механической операции, а в конечном итоге увеличению себестоимости выпускаемой продукции.

В связи с этим проблема повышения стойкости (ресурса работы) режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов является одной из крупных практических проблем современного машиностроения.

Решением данной проблемы может быть разработка такого способа повышения износостойкости режущих инструментов, который обладает универсальностью, легкодоступностью и при этом обеспечивает высокую стойкость и износостойкость. Таким способом является метод предварительной приработки режущих инструментов. Известно, что предварительная приработка как метод повышения стойкости и надежности инструмента экономически оправдана применительно к дорогостоящему инструменту, работа которых сопряжена с большими материально-техническими затратами [3,4].

### Основная часть

Приработку инструмента можно рассматривать как процесс приспособления исходной поверхностной структуры к условиям контактного взаимодействия. На режимах рациональной эксплуатации инструмента этот процесс сопровождается упрочнением, который с энергетической точки зрения можно представить как увеличения химического потенциала контактных структур до некоторого значения. Каждому режиму контактного взаимодействия соответствует свое максимальное значение химического потенциала, которое достигается поверхностной структурой к концу периода приработки. При дальнейшей эксплуатации сформированной вторичной структурой значение её химического потенциала практически не меняется в течение всего периода установившегося износа, определяя работоспособность и надёжность инструмента. Рассмотрим процесс трансформации поверхностной структуры инструмента в период начального, или приработочного износа.

На рисунке 1 показаны эпюры химических потенциалов упрочнённых поверхностных структур зуборезного инструмента.

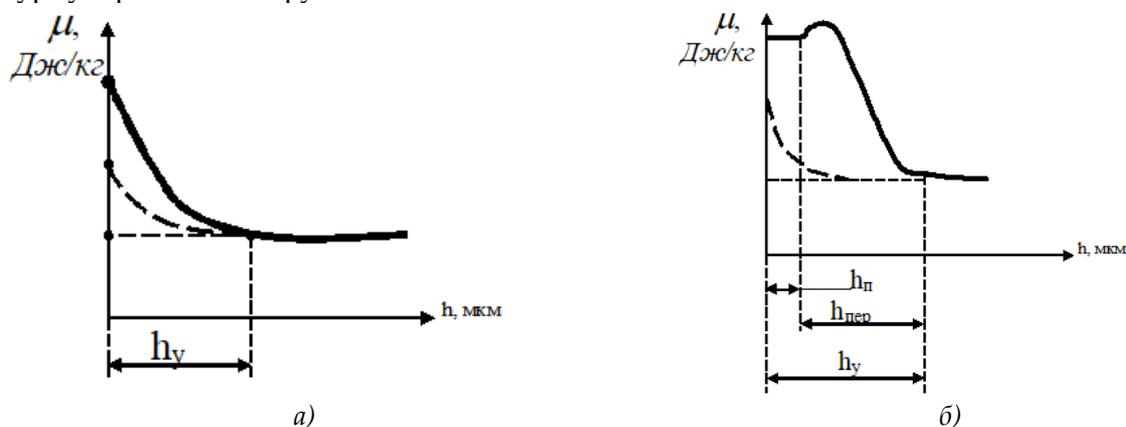


Рисунок 1 - Эпюры химических потенциалов упрочнённых поверхностных структур зуборезного инструмента

Упрочнения обеспечиваются только за счёт повышения плотности дислокаций. Этот случай относится к технологиям упрочнения, основанных на чисто деформационных явлениях, когда в упрочняемой зоне отсутствуют источники активных химических элементов (например покрытия или плёнки), которые могли бы вступать в металлографические взаимодействия с возрастающей плотностью дефектов кристаллического строения, блокируя подвижность последних [5]. Кинетику этого процесса, отнесенного к самому верхнему слою, можно представить гипотетическими зависимостями, графически изображенными на рисунке 2.

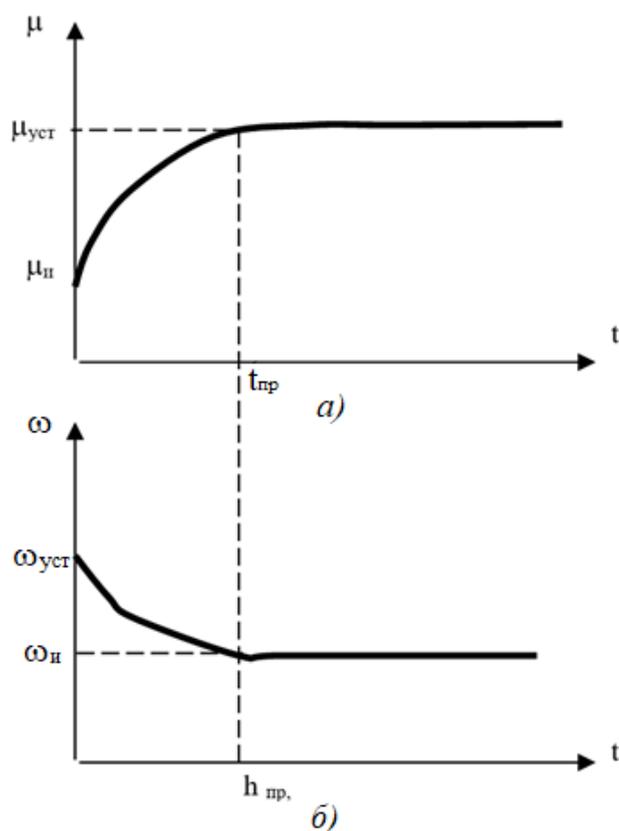


Рисунок 2 - Гипотетические кинематические характеристики процесса приработки инструмента

Изменение химического потенциала представлено на рис. 2, а, где  $\mu_{и}$  и  $\mu_{уст}$  – величины химических потенциалов исходной и вторичной контактной структуры,  $t_{пр}$  – продолжительность периода приработки. На рис. 2, б приведено изложение интенсивности износа в период приработки и выхода в зону установившегося износа.  $\omega_{и}$  и  $\omega_{уст}$  – представляют интенсивность износа исходной и приработанной контактной структуры.

Особенность приработки упрочненного инструмента заключается в том, что его рабочие поверхности уже имеют повышенное значение химического потенциала по сравнению с основным инструментальным материалом, обладая при этом и меньшей энергопоглощательной способностью или полным отсутствием такового. Интенсивность начального износа будет в таком случае, естественно, ниже. Сам процесс приработки в этом случае может иметь три разновидности в зависимости от внутреннего энергетического состояния упрочненной поверхностной структуры [6]:

1. Упрочненная поверхностная структура еще имеет потенциальные возможности к поглощению упругой внутренней энергии.
2. Упрочненная поверхностная структура находится в состоянии термодинамически устойчивого предельного насыщения и не способна к поглощению упругой внутренней энергии.
3. Упрочнённая поверхностная структура находится в состоянии термодинамически неустойчивого предельного насыщения, она не только неспособна к поглощению упругой внутренней энергии, а стремится к избавлению от неё.

Были проведены исследования при эксплуатации червячных фрез из P5M5Ф при обработке зубчатых колес  $m = 6,0$  мм из стали 12ХГСА [4,7,8,9].

На рисунке 3 представлены сводные результаты испытаний.

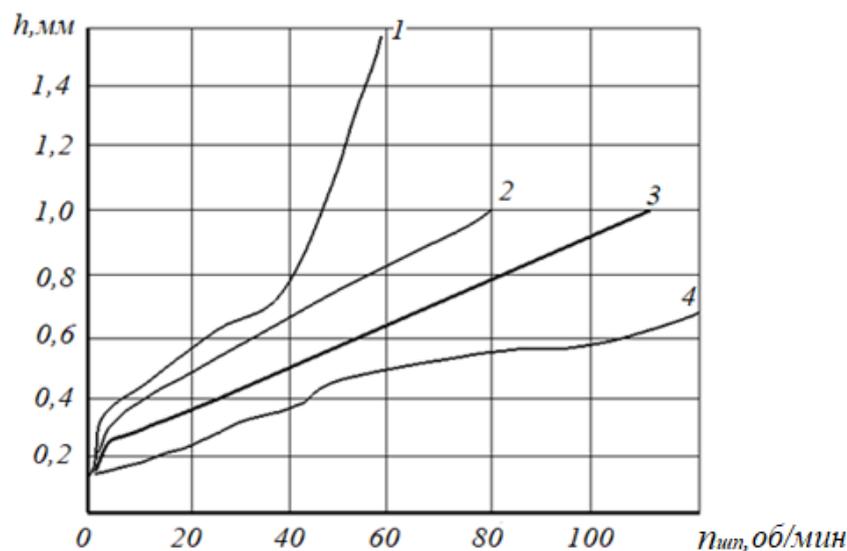


Рисунок 3 - Износ червячной фрезы из P6M5Ф 9 ( $m=10$  мм) при зубообработке шестерен из ст. 12ХГСА на  $V=42,5$  м/мин;  $S_0=0,2$  мм/об;  $t=10$  мм;  $m=6$  мм. 1-обычная червячная фреза, 2-фреза с TiN покрытием (КИБ), 3-обычная фреза с приработкой на  $V=28$  м/мин; 4-приработанная фреза с TiN покрытием на  $V=28$  м/мин;

### Обсуждение

Стойкость инструмента оценивалась по количеству обработанных шестерен, которые имела следующие параметры: число зубьев  $Z = 72$ ; модуль  $m = 6$  мм; ширина венца  $B = 40$  мм. Режимы резания соответствовали условию полустогового зубофрезерования и составляли:  $V = 42$  м/мин;  $S_0 = 2,01$  мм/об;  $t = 12$  мм. Скорость предварительной приработки принималась  $V_{п} = 28$  м/мин.

Экспериментальные результаты, отражающие влияние скорости предварительной приработки червячной фрезы для различных режимов эксплуатации представлены на рисунке 4.

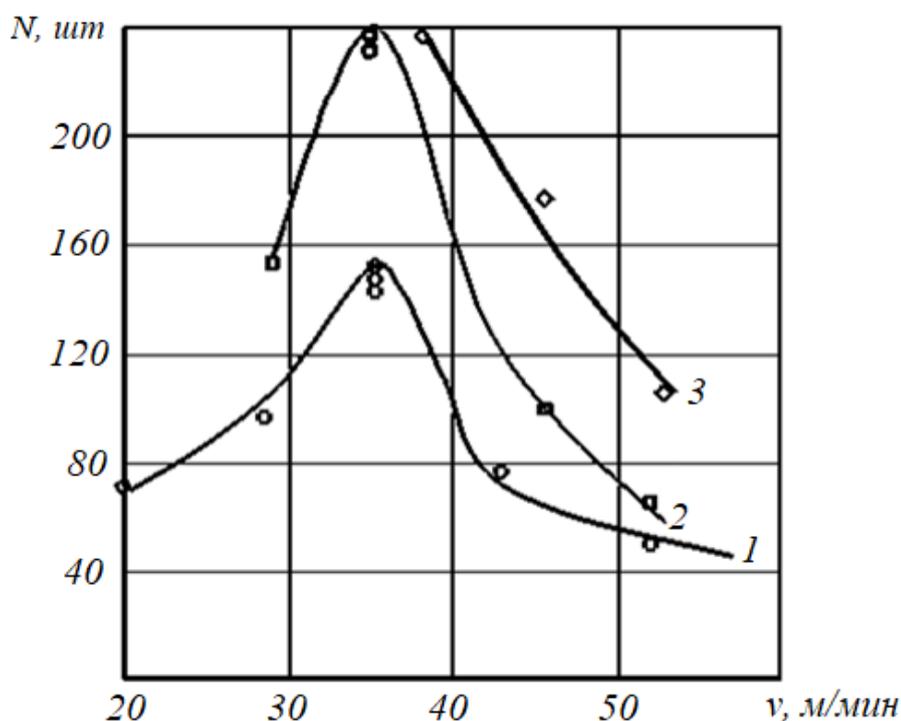


Рисунок 4 – Влияние на стойкость модульной червячной фрезы из Р6М5Ф,  $m = 10$  мм скорости резания при обработке зубчатого колеса из стали 40Х: 1 – традиционный; 2 – приработка проводилась на  $V=32$  м/мин; 3 – приработка проводилась на  $V=42,5$  м/мин

Приработка инструмента повышает как стойкость, так и его надёжность и стабильность, что проявляется на таких параметрах, как мода вероятности распределения стойкости, безотказности работы и диапазон рассеивания стойкости. Приработка червячных фрез более 1,6 раз снижает его радиальное биение, уменьшающее динамические возмущения силовых параметров процесса резания.

Результаты исследования показывают, что метод предварительной приработки можно применить и для других металлорежущих инструментов. Для этого необходимо развитие данного научного направления и проведение серий экспериментальных исследований по каждому типу металлорежущего инструмента, которые будут реализованы в рамках грантового финансирования исследования молодых ученых по проекту «Жас ғалым» АР14972884 «Повышение износостойкости металлорежущих инструментов методом приработки». Для достижения цели исследования необходимо решение следующих задач:

- анализ и исследование состояния проблемы инструментального обеспечения производства в условиях машиностроительных предприятий Республики Казахстан. Исследование существующих способов и методов повышения износостойкости режущих инструментов. Литературный и патентный поиск;

- теоретическое исследование и раскрытие механизма повышения износостойкости режущих инструментов методом приработки. Основные закономерности процесса формирования вторичных контактных структур при резании. Термодинамические аспекты упрочнения рабочих поверхностей инструмента в процессе предварительной приработки;

- экспериментальное исследование повышения износостойкости различных металлорежущих инструментов (токарных резцов, зуборезных режущих инструментов, режущих инструментов для фрезерной операции) методом предварительной приработки;

- исследование закономерности влияния режимов приработки, материала режущего инструмента и заготовки на стойкость и износостойкость инструментов;

- компьютерное моделирование процесса структурной приспособляемости режущих инструментов;
- металлографическое и структурные исследования контактных поверхностей режущих инструментов после приработки;
- разработка рекомендации по использованию метода приработки режущих инструментов.

### Выводы

1. Метод предварительной приработки является универсальным, легкодоступным способом повышения износостойкости металлорежущих инструментов и при этом может обеспечить их высокую стойкость и износостойкость.

2. Метод предварительной приработки металлорежущих инструментов повышает как стойкость, так и их надёжность и стабильность, что проявляется на таких параметрах, как мода вероятности распределения стойкости, безотказности работы и диапазоне рассеивания стойкости. Приработка червячных фрез более 1,6 раз снижает его радиальное биение, уменьшающее динамические возмущения силовых параметров процесса резания.

### Список литературы

1. D. Samuel Raj, L. Karunamoorthy (2019) Performance of cryogenically treated WC drill using tool wear measurements on the cutting edge and hole surface topography when drilling CFRP . In International Journal of Refractory Metals and Hard Materials Volume 78, January 2019. 32-44
2. Денисов В.А., Жуков А.В., Мадышев Р.Р. (2014) Переходные и частотные характеристики системы компенсации износа режущего инструмента. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Т. 16, №6, 204-208.
3. Шеров К.Т., Мардонов Б.Т., Ирзаев А. Влияние режимов предварительной приработки на повышение стойкости режущего инструмента / Вестник ТашГТУ.- Ташкент: Изд-во ТашГТУ, 2005.- №4.-С.68-71.
4. Шеров К.Т., Мардонов Б.Т., Ирзаев А., Каримов Ш.А. Способ повышения износостойкости и надёжности червячных фрез / «Проблемы механики» - Ташкент: Изд-во «Фан» АН РУз, 2005.-№3.-С.100-103.
5. Шеров К.Т., Ирзаев А.И., Ким В. Повышение стойкости режущего инструмента методом приработки / «Горный вестник» Узбекистана.- Ташкент: Изд-во ДП «Poli-Press», 2004.-№1.-С.51-53.
6. Шеров К.Т., Ирзаев А.И., Каримов Ш.А. Предварительная приработка зуборезного инструмента // Материалы четвертой международной конференции. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр».-Москва-Навоий: Изд-во РУДН, 2005.-С.404-407.
7. Шеров К.Т. Технология упрочнения контактных поверхностей зуборезущего инструмента // Межвузовский сборник научных трудов. «Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук». Выпуск 1.-Ташкент: Изд-во ТашГТУ, 2006.-С. 24-25.
8. Мардонов Б.Т., Шеров К.Т., Равшанов Ж.Р. Анализ интенсивности предварительно приработанного инструмента, а также его надёжности, стойкости и стабильности. / Journal of Advances in Engineering Technology. Навои: Изд-во ООО «Science Algorithm», 2021. - №2(4) - С.33-39.
9. Мардонов Б.Т., Шеров К.Т., Равшанов Ж.Р., Смайлова Б.К. Исследование влияние твердости обрабатываемого материала на оптимальную скорость предварительной приработки. / Научный журнал «Наука и техника Казахстана». Павлодар: Изд-во ПГУ, 2021.- №4. - С. 22-29.

К.Т. Шеров, А.А. Сагитов, М.Т. Усербаев, А.К. Шеров, Г.М. Тусупбекова  
С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан

### Металл кескіш құралдардың тозуға төзімділігін арттыру әдісі

**Андатпа.** Отаңдық машина жасау салаларында кесу жиектерінің тозуына байланысты өңдеу кезінде металл кескіш құралдарды тұтыну мәселесі туындайды. Бұл әсіресе өңдеуге қиын материалдардан бөлшектерді жасауда байқалады. Бұл мәселені шешу үшін АР14972884 «Металл кескіш құралдардың тозуға төзімділігін қалыптастыру әдісімен арттыру» жобасын жүзеге асыру бағытталған. Құралдың беріктігі мен сенімділігін арттыру әдісі ретінде алдын-ала қалыптастыру жұмысы жоғары материалдық-техникалық шығындармен байланысты қымбат құралдарға қатысты экономикалық негізделген.

12ХГСА болаттан жасалған  $m=6,0$  мм тісті доңғалақтарды өңдеуге арналған Р5М6Ф материалынан жасалған червякты фрезаның жұмысы кезіндегі зерттеу нәтижелері келтірілген. Сондай-ақ, 40Х болаттан жасалған тісті доңғалақты өңдеу кезінде Р5М6Ф,  $m = 10$  мм модульдік червякты фрезаның беріктігіне алдын ала қалыптастыру жылдамдығының әсерін көрсететін тәжірибелік нәтижелер берілген. Зерттеу нәтижелері металл кескіш құралды алдын ала қалыптастыру әдісін құралдың қызмет ету мерзімін арттырудың тиімді әдістерінің бірі ретінде қарастыруға болатынын көрсетеді.

**Кілт сөздер:** Тозу, сенімділік, құралдың тозуға төзімділігі, алдын ала қалыптастыру әдісі, қосалқы құрылым.

К.Т. Sherov, A.A. Sagitov, M.T. Userbaev, A.K. Sherov, G.M. Tusupbekova  
S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan

### A method for increasing the wear resistance of metal-cutting tools

**Abstract.** In domestic machine-building industries, there is a problem with the consumption of metal-cutting tools during machining due to the wear of the cutting edges. This is especially observed in the manufacture of parts from difficult-to-machine materials. The project AR14972884 "Improving the wear resistance of metal-cutting tools by the running-in method" is aimed at solving this problem. Preliminary running in as a method of increasing the durability and reliability of the tool is economically justified in relation to expensive tools, the operation of which is associated with high material and technical costs.

The article presents the results of the study during the operation of worm cutters made of R5M5F for processing gears  $m=6.0$  mm made of steel 12KhGSA. As well as experimental results, reflecting the effect of the speed of preliminary running-in on the durability of a modular worm cutter made of R6M5F,  $m = 10$  mm, when machining a gear made of steel 40X. The results of the study indicate that the method of preliminary running-in of a metal-cutting tool can be considered one of the effective ways to increase tool life.

**Keywords:** Wear, reliability, tool wear resistance, pre-running method, secondary structure.

### References

1. D. Samuel Raj, L. Karunamoorthy (2019) Performance of cryogenically treated WC drill using tool wear measurements on the cutting edge and hole surface topography when drilling CFRP . In International Journal of Refractory Metals and Hard Materials Volume 78, January 2019. 32-44
2. Denisov V.A., Zhukov A.V., Madyshev R.R. (2014) Perekhodnyye i chastotnyye kharakteristiki sistemy kompensatsii iznosa rezhushchego instrumenta. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra

Rossiyskoy akademii nauk, T. 16, №6, 204-208.

3. Sherov K.T., Mardonov B.T., Irzayev A. Vliyaniye rezhimov predvaritel'noy prirabotki na povysheniye stoykosti rezhushchego instrumenta / Vestnik TashGTU.- Tashkent: Izd-vo TashGTU, 2005.- №4.-S.68-71.

4. Sherov K.T., Mardonov B.T., Irzayev A., Karimov SH.A. Sposob povysheniya iznosostoykosti i nadozhnosti chervyachnykh frez / «Problemy mekhaniki» - Tashkent: Izd-vo «Fan» AN RUz, 2005.-№3.- S.100-103.

5. Sherov K.T., Irzayev A.I., Kim V. Povysheniye stoykosti rezhushchego instrumenta metodom prirabotki / «Gornyy vestnik» Uzbekistana.- Tashkent: Izd-vo DP «Poli-Press», 2004.-№1.-S.51-53.

6. Sherov K.T., Irzayev A.I., Karimov SH.A. Predvaritel'naya prirabotka zuboreznogo instrumenta // Materialy chetvertoy mezhdunarodnoy konferentsii. «Resursovosproizvodyashchiye, malootkhodnyye i prirodookhrannyye tekhnologii osvoyeniya nedr».-Moskva–Navoiy: Izd-vo RUDN, 2005.-S.404-407.

7. Sherov K.T. Tekhnologiya uprochneniya kontaktnykh poverkhnostey zuborezhushchego instrumenta // Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. «Aktual'nyye voprosy v oblasti tekhnicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh nauk». Vypusk 1.-Tashkent: Izd-vo TashGTU, 2006.-S. 24-25.

8. Mardonov B.T., Sherov K.T., Ravshanov ZH.R. Analiz intensivnosti predvaritel'no prirabotannogo instrumenta, a takzhe yego nadozhnosti, stoykosti i stabil'nosti. / Journal of Advances in Engineering Technology. Navoi: Izd-vo OOO «Science Algorithm», 2021. - №2(4) - S.33-39.

9. Mardonov B.T., Sherov K.T., Ravshanov ZH.R., Smaylova B.K. Issledovaniye vliyaniye tverdosti obrabatyvayemogo materiala na optimal'nyuyu skorost' predvaritel'noy prirabotki. / Nauchnyy zhurnal «Nauka i tekhnika Kazakhstana». Pavlodar: Izd-vo PGU, 2021.- №4. - S. 22-29.

#### **Сведения об авторах:**

**Шеров К.Т.** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

**Сагитов А.А.** – преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

**Усербаев М.Т.** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

**Шеров А.К.** – PhD, старший преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

**Тусупбекова Г.М.** – докторант кафедры «Технологические машины и оборудование», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

**Sherov K.T.** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

**Sagitov A.A.** - Lecturer of the Department of Technological Machines and Equipment, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

**Userbaev M.T.** - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Technological Machines and Equipment, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

**Sherov A.K.** - Doctor PhD, Senior Lecturer of the Department of of Technological Machines and Equipment, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.

**Tusupbekova G.M.** – Ph.D. student of the Department of Technological Machines and Equipment, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, 62 Zhenis ave., Astana, Kazakhstan.