

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-56-63
УДК 681.5

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСА РЕЗЦА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ПО ЗАПАСУ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

К. Л. Вахидова¹, М. Ш. Минцаев¹, М. Р. Исаева¹, М. А. Игнатьев², С. А. Игнатьев²

*¹Грозненский государственный нефтяной технический университет
им. академика М. Д. Миллионщикова,
Грозный, Чеченская Республика, Российская Федерация*

*²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.,
Саратов, Российская Федерация*

В настоящее время современное производство стремится внедрять автоматизированные системы управления качеством выпускаемой продукции на своих предприятиях. Одним из важных факторов, влияющих на качество токарной обработки деталей, является состояние режущего инструмента. Практические исследования показывают, что большее количество (35 %) поломок режущего инструмента происходит из-за его износа, а затраты времени на замену резца составляют в среднем 10 % от рабочего времени мехатронных станочных систем. Для предотвращения поломок резца и брака изделий, связанного с износом, необходимо своевременно определить момент начала критического износа режущего инструмента. Таким образом, возникла потребность в разработке автоматизированной системы распознавания начальной фазы критического износа резца при токарной обработке на станке с ЧПУ в реальном времени, причем существенно важным является создание надежного алгоритма и программно-математического обеспечения. Рассматриваемый алгоритм определения критического износа резца при токарной обработке основан на оценке запаса устойчивости динамической системы станка, что позволяет более полно использовать ресурс инструмента и практически исключить брак, связанный с поздней заменой резца при токарной обработке, а также в условиях массового производства значительно уменьшить финансовые затраты, к которым ведет неоптимальный расход рабочего ресурса инструмента. Предложенные решения способствуют повышению эффективности токарной обработки.

Ключевые слова: режущий инструмент, критический износ, вибрация, динамическая система, передаточная функция, запас устойчивости.

Для цитирования: *Вахидова К. Л., Минцаев М. Ш., Исаева М. Р., Игнатьев М. А., Игнатьев С. А.* Алгоритм определения износа резца при токарной обработке по запасу устойчивости динамической системы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 3. С. 56–63. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-56-63.

Введение

При наступлении критического износа режущего инструмента при точении резко возрастает уровень силовых, температурных и динамических нагрузок, а точность обработки приближается к границе поля допуска. В условиях автоматизированного производства оператору станка почти невозможно самостоятельно определить начало наступления критического износа резца, и замена инструмента происходит, как правило, раньше, чтобы избежать поломки резца, однако это приводит к снижению эффективности производства из-за неоптимального расхода режущего инструмента и увеличения времени простоя станка [1, 2].

Контроль износа резца возможен как прямыми, так и косвенными методами измерения [3], однако в условиях реального производства измерение прямыми методами является сложно-реализуемым процессом, поэтому широкое распространение получили косвенные методы контроля износа резца, в частности по вибрациям динамической системы (ДС) станка [4, 5].

Алгоритмизация выявления начальной фазы критического износа резца

Представленная в данной работе методика и реализующий ее алгоритм (рис. 1) сформулированы исходя из способа стохастической идентификации в динамике станков, разработанного в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю. А. [4, 6].

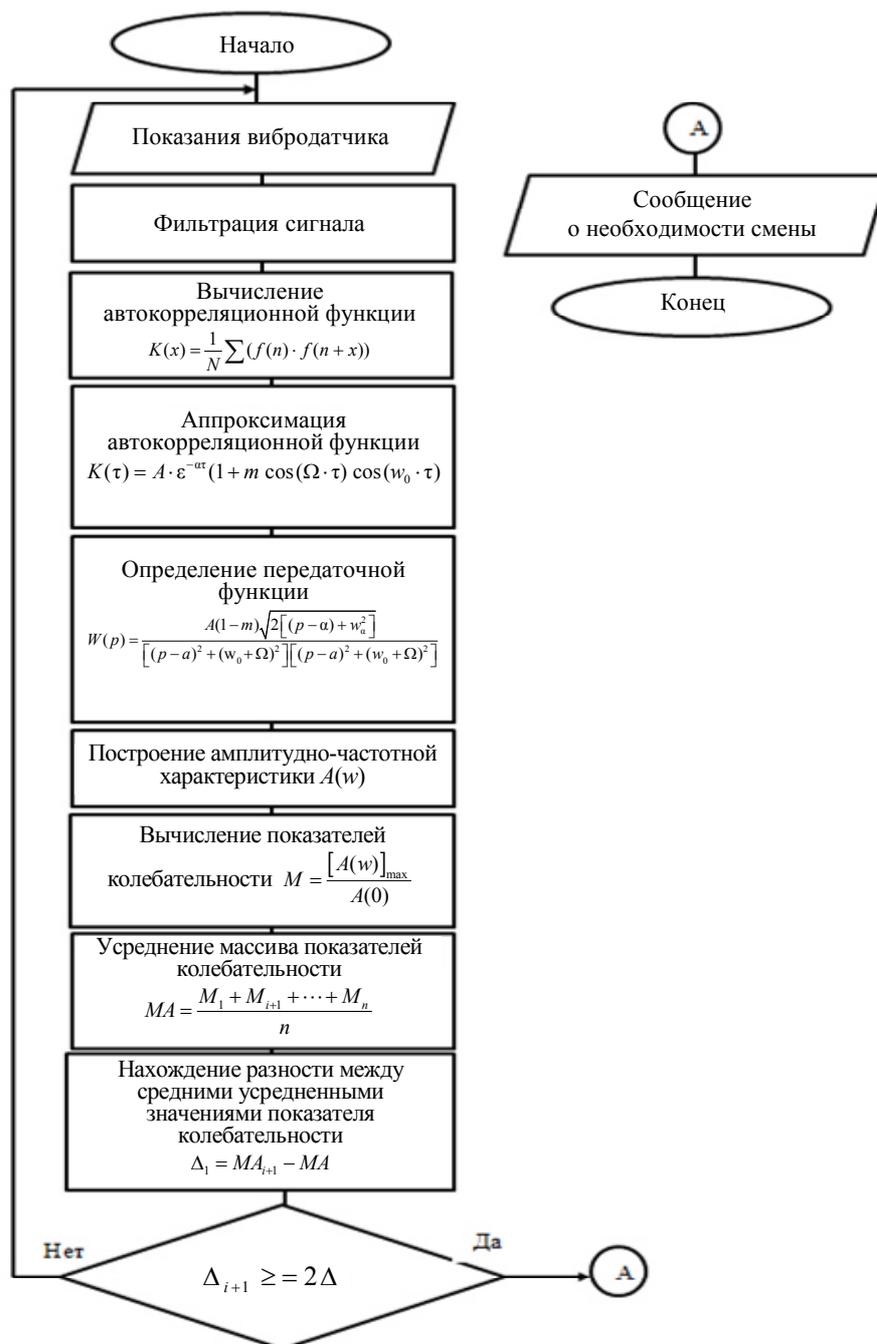


Рис. 1. Алгоритм выявления начальной фазы критического износа резца при токарной обработке по запасу устойчивости динамической системы

Суть данного метода заключается в том, что измеренные с помощью вибродатчика, установленного на магнитном основании, вибрации на резцовом блоке или на шпиндельном узле станка обрабатываются методами теории автоматического управления. Принимая во внимание, что сигнал, образующийся при врезании инструмента в заготовку, является для ДС входным стохастическим сигналом типа «белый шум», это впоследствии позволяет распознавать изменения запаса устойчивости ДС «резец – заготовка». Данный метод является неразрушающим, т. к. при его реализации не нужно вмешиваться в процесс работы станка и его конструкцию, и обладает такими преимуществами, как простота и низкая стоимость применения в условиях производства.

Алгоритм, реализующий разработанную методику, представлен на рис. 1. Первоначально для определения момента начала катастрофического износа режущего инструмента необходимо измерить вибрации ДС станка [6]. После снятия показаний с вибродатчика сигнал необходимо отфильтровать, чтобы исключить колебания механических узлов станка, не связанных с процессом резания (низкие частоты в диапазоне до 400 Гц). Далее вычисляется автокорреляционная функция (АКФ) виброакустических колебаний $K(\tau)$, что позволяет воспользоваться формулой, полученной А. Н. Скляревичем [7], и определить передаточную функцию ДС при резании [4, 5]. В общем случае ДС станка является нелинейной, однако в ходе экспериментов установлено, что передаточная функция в процессе обработки одной заготовки практически не меняется, и ДС может быть рассмотрена как линеаризованная.

Экспериментальная АКФ представляет собой затухающую косинусоиду и аппроксимируется выражением

$$K(\tau) = A \cdot e^{-\alpha\tau} (1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot \tau) \cos(\omega_0 \cdot \tau)),$$

где A – постоянный коэффициент; α – коэффициент затухания; ω_0 – основная частота АКФ; Ω – частота огибающей; m – коэффициент модуляции; τ – время.

В результате полученных значений коэффициентов АКФ определяется передаточная функция ДС токарного станка:

$$W(p) = \frac{A(1+m) \sqrt{2} [(p+\alpha)^2 + \omega_0^2]}{[(p+\alpha)^2 + (\omega_0 + \Omega)^2][(p+\alpha)^2 + (\omega_0 - \Omega)^2]},$$

где p – оператор Лапласа.

Идентифицированная передаточная функция позволяет оценить запас устойчивости ДС по вычисленному показателю колебательности M ДС при обработке каждой детали. Показатель колебательности является мерой запаса устойчивости системы, и чем выше этот показатель, тем меньше запас устойчивости ДС [8]. Показатель колебательности определяется из амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) $A(\omega)$, которая строится по передаточной функции:

$$M = \frac{[A(\omega)]_{\max}}{A(0)},$$

где $[A(\omega)]_{\max}$ – максимальное значение АЧХ; $A(0)$ – значение АЧХ при $\omega = 0$.

Значения параметров АКФ постепенно изменяются по мере износа резца и, следовательно, изменяется запас устойчивости ДС. Значения показателей колебательности при обработке каждой детали записываются в массив данных.

Для дальнейшего определения момента начала критического износа резца необходимо усреднить массив показателей колебательности, с этой целью предлагается использовать метод скользящего среднего, т. к. он достаточно точен при малом количестве точек сглаживания, но в то же время прост в реализации. Интервал сглаживания примем равным

$$MA_i = \frac{M_i + M_{i+1} + M_{i+2}}{3},$$

где $i = 1, \dots, n$; n – количество точек сглаживания.

Следующим шагом является нахождение разности Δ между соседними усредненными значениями показателей колебательности. Это выполняется для дальнейшего определения степени изменения показателя колебательности, а следовательно, и запаса устойчивости системы:

$$\Delta = MA_{i+1} - MA_i.$$

Затем выполняется сравнение текущего значения первой разности показателя колебательности с критическим, которое определено эмпирически при исследовании динамики токарных станков и изменения размеров колец:

$$\Delta_{i+1} \geq 2 \cdot \Delta_i. \quad (1)$$

Если выражение (1) верно, значит резец вошел в состояние критического износа и необходима его замена или заточка.

Процесс обработки значений показателя колебательности можно представить графически в виде диаграмм (рис. 2).

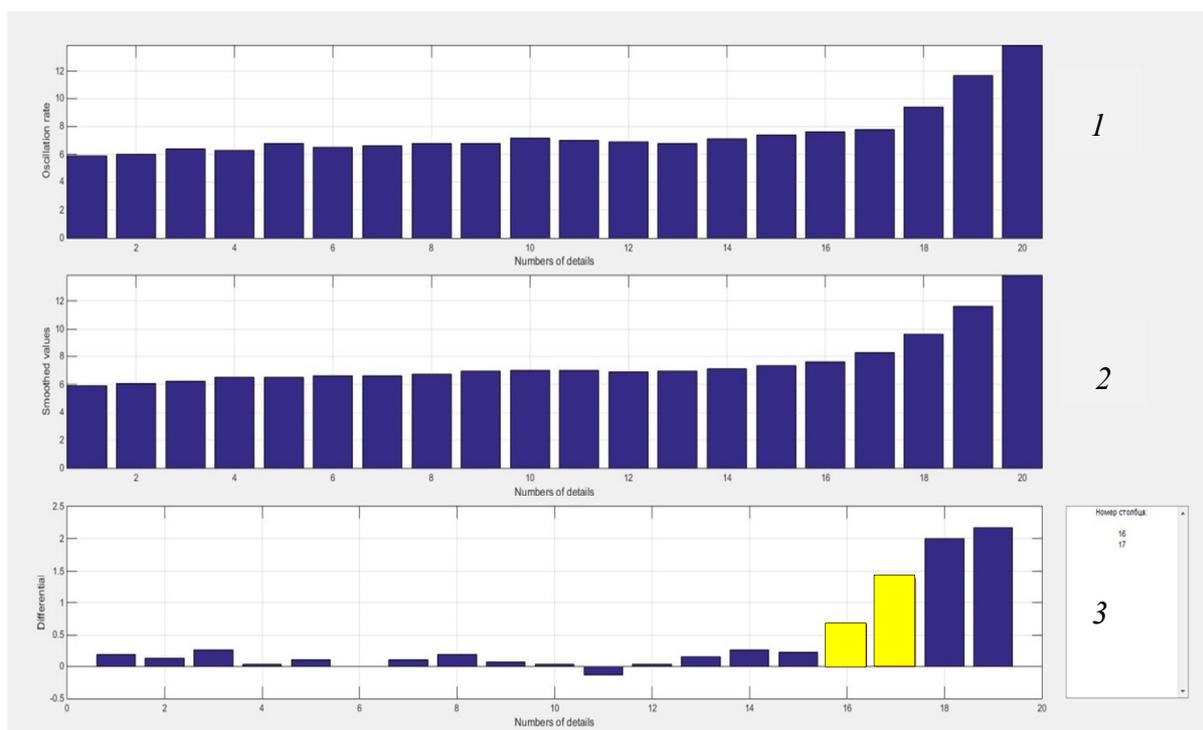


Рис. 2. Процесс обработки значений показателя колебательности:

- 1 – показатель колебательности; 2 – сглаженный показатель колебательности по значениям;
3 – разность между соседними сглаженными значениями

Два столбца, отличающиеся цветом, обозначают показатели колебательности, соответствующие тем деталям, в которых необходимо заменить резец.

На основе рассмотренного алгоритма было разработано специализированное программное обеспечение на языке C++ [5]. На выбор данной среды программирования повлияли такие критерии, как скорость компиляции и возможность применения в производственных условиях.

Таким образом, алгоритм и соответствующее программное обеспечение позволяют распознать начало критического износа резца и выдать сообщение оператору станка.

Экспериментальные исследования

Для экспериментальных исследований вибраций станка использовался виброизмеритель ВШВ-003МЗ с датчиком ДН-3 и ноутбук, в который встроена плата (рис. 3).

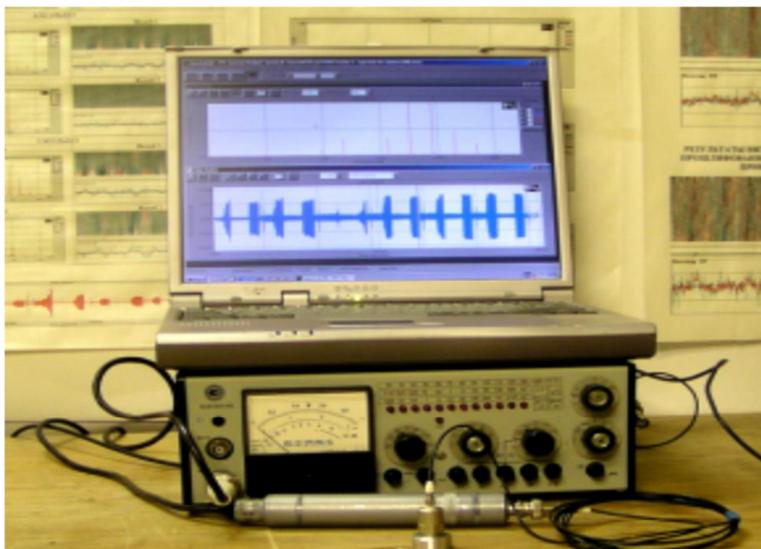


Рис. 3. Аппаратное обеспечение экспериментов

Эксперименты проводились при точении колец подшипников на токарном станке с ЧПУ модели ПАБ-350 в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» [4, 5] (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид станка ПАБ-350

Было проведено 2 эксперимента:

- 1) при черновой обработке резцом PSON пластина SNMM 120412 E-OR; 9230 (производство Чехии);
 - 2) при чистовой обработке тем же резцом.
- Эксперименты повторялись по 10 раз.

Заключение

В ходе экспериментов проводились исследования точности обработки дорожки качения колец подшипников, т. к. скорость изменения диаметральных размеров служила косвенным параметром для выявления критического износа РИ. Именно сопоставительный анализ изменения показателя колебательности и изменения размеров позволил установить критерий замены резца в соответствии с соотношением (1).

После обработки экспериментальных данных о вибрации ДС с помощью разработанного программного обеспечения были получены следующие результаты: для резца PSON с пластиной SNMM 120412 критический износ резца наступал при черновой обработке на 17–18-м кольцах, а при чистовой обработке – на 43–45-м кольцах, в то время как на предприятии смена резца происходит по регламенту при черновой обработке на 15-м кольце, а при чистовой обработке – на 40-м кольце. Из этого следует, что время резания инструментом можно увеличить на 10–12 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Изюмов А. И.* Контроль и управление состоянием инструмента многооперационного станка в системе его интеллектуального мониторинга: автореф. ... дис. канд. техн. наук. Ростов н/Д.: Изд-во ДГТУ, 2017. 22 с.
2. *Тугенгольд А. К., Дмитров В. П., Изюмов А. И., Юсупов А. Р.* Мониторинг и управление состоянием инструмента на многооперационных станках // СТИН. 2016. № 11. С. 13–20.
3. *Мартинов Г. М., Григорьев А. С.* Диагностирование режущих инструментов и прогнозирование остаточной стойкости на станках с ЧПУ // СТИН. 2012. № 2. С. 23–28.
4. *Игнатьев А. А., Коновалов В. В., Игнатьев С. А.* Идентификация в динамике станков с использованием стохастических методов. Саратов: Изд-во СГТУ, 2014. 92 с.
5. *Игнатьев М. А., Игнатьев А. А.* Контроль износа режущего инструмента при токарной обработке // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во СГТУ, 2020. С. 26–30.
6. *Игнатьев С. А., Казинский Н. А., Игнатьев А. А.* Выявление катастрофического износа инструмента при мониторинге токарной обработки // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во СГТУ, 2017. С. 46–49.
7. *Скляревич А. Н.* Операторные методы в статистической динамике автоматических систем. М.: Наука, 1965. 460 с.
8. *Бесекерский В. А., Попов Е. П.* Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975. 768 с.

Статья поступила в редакцию 22.03.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Карина Лечиевна Вахидова – старший преподаватель кафедры автоматизации технологических процессов и производств; Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова; Россия, 364051, Грозный; Sq.90@bk.ru.

Магомед Шавалович Минцаев – д-р техн. наук, доцент; профессор кафедры автоматизации технологических процессов и производств; Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова; Россия, 364051, Грозный; kafedra_au@mail.ru.

Мадина Ризвановна Исаева – канд. техн. наук; доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств; Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова; Россия, 364051, Грозный; Meda8181@mail.ru.

Максим Алексеевич Игнатьев – магистрант кафедры технологии и систем управления в машиностроении; Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.; Россия, 410054, Саратов; atp@sstu.ru.

Станислав Александрович Игнатьев – д-р техн. наук, доцент; профессор кафедры технологии и систем управления в машиностроении; Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.; Россия, 410054, Саратов; ignatievsa@mail.ru.



ALGORITHM FOR MEASURING CUTTER WEAR IN TURNING BY EVALUATING DYNAMIC SYSTEM STABILITY RESERVE

K. L. Vakhidova¹, M. Sh. Mintshev¹, M. R. Isaeva¹, M. A. Ignatiev², S. A. Ignatiev²

¹ Millionshchikov Grozny State Oil Technical University,
Grozny, Chechen Republic, Russian Federation

² Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Saratov, Russian Federation

Abstract. The article considers introducing automated quality control systems to the industrial enterprises, which is very important today. There are many factors that negatively affect the reliability of products used in different industries (transport, agriculture, etc.). One of the important factors at present is the quality of turning parts, which, in turn, is influenced by the state of the cutting tool. Practical research shows that a greater number (35%) of cutting tool breakdowns happen due to its wear, and the time spent on changing the cutter is, on average, 10% of the working time of mechatronic machine tool systems. To prevent breakage of the cutter and damage of products associated with wear, it is necessary to determine in a timely manner the moment of the beginning of critical wear of the cutting tool. Thus, a need arose for the development of an automated system for recognizing the initial phase of critical wear of a cutter during turning on a CNC machine in real time, and it is essential to create a reliable algorithm and software and mathematical support. The implementation of the considered algorithm for determining the critical wear of the cutter in turning according to the stability margin of the dynamic system and its software implementation make it possible to use the tool resource and practically eliminate the rejects associated with late replacement of the cutter during turning, as well as significantly reduce financial costs under conditions of mass production to which the suboptimal consumption of the working resource of the tool leads. The proposed decision helps to increase the turning efficiency.

Key words: cutting tool, critical cutter wear, vibration, dynamic system, transfer function, stability margin.

For citation: Vakhidova K. L., Mintshev M. Sh., Isaeva M. R., Ignatiev M. A., Ignatiev S. A. Algorithm for measuring cutter wear in turning by evaluating dynamic system stability reserve. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;3:56-63. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-56-63.

REFERENCES

1. Iziumov A. I. *Kontrol' i upravlenie sostoianiem instrumenta mnogooperatsionnogo stanka v sisteme ego intellektual'nogo monitoringa. Avtoreferat ... dissertatsii kand. tekhn. nauk* [Control and management of multioperational machine tool in system of its intellectual monitoring. Diss. Abstr. ... Cand. Tech. Sci.]. Rostov-on-Don, Izd-vo DGTU, 2017. 22 p.
2. Tugengol'd A. K., Dmitrov V. P., Iziumov A. I., Iusupov A. R. Monitoring i upravlenie sostoianiem instrumenta na mnogooperatsionnykh stankakh [Monitoring and control of tool on multioperating machines]. *STIN*, 2016, no. 11, pp. 13-20.
3. Martinov G. M., Grigor'ev A. S. Diagnostirovanie rezhushchikh instrumentov i prognozirovanie ostatnochnoi stoikosti na stankakh s ChPU [Diagnostics of cutting tools and prediction of residual durability on CNC machines]. *STIN*, 2012, no. 2, pp. 23-28.
4. Ignat'ev A. A., Konovalov V. V., Ignat'ev S. A. Identifikatsiia v dinamike stankov s ispol'zovaniem stokhasticheskikh metodov [Identification in dynamics of machine tools using stochastic methods]. Saratov, Izd-vo SGTU, 2014. 92 p.
5. Ignat'ev M. A., Ignat'ev A. A. Kontrol' iznosa rezhushchego instrumenta pri tokarnoi obrabotke [Control of cutting tools wear in turning]. *Avtomatizatsiia i upravlenie v mashino- i priborostroenii: sbornik nauchnykh trudov*. Saratov, Izd-vo SGTU, 2020. Pp. 26-30.
6. Ignat'ev S. A., Kazinskii N. A., Ignat'ev A. A. Vyavlenie katastroficheskogo iznosa instrumenta pri monitoringe tokarnoi obrabotki [Revealing catastrophic tool wear in monitoring of turning]. *Avtomatizatsiia i upravlenie v mashino- i priborostroenii: sbornik nauchnykh trudov*. Saratov, Izd-vo SGTU, 2017. Pp. 46-49.
7. Skliarevich A. N. *Operatornye metody v statisticheskoi dinamike avtomaticheskikh sistem* [Operator methods in statistical dynamics of automatic systems]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 460 p.
8. Besekerskii V. A., Popov E. P. *Teoriia sistem avtomaticheskogo regulirovaniia* [Theory of automatic control systems]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 768 p.

The article submitted to the editors 22.03.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Karina L. Vakhidova – Senior Lecturer of the Department of Automation of Technological Processes and Production; Millionshchikov Grozny State Oil Technical University; Russia, 364051, Grozny; Sq.90@bk.ru.

Magomed Sh. Mintshev – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Technological Processes and Production Automation; Millionshchikov Grozny State Oil Technical University; Russia, 364051, Grozny; kafedra_au@mail.ru.

Madina R. Isaeva – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Automation of Technological Processes and Production Automation; Millionshchikov Grozny State Oil Technical University; Russia, 364051, Grozny; Meda8181@mail.ru.

Maxim A. Ignatiev – Master's Course Student of the Department of Technology and Control Systems in Mechanical Engineering; Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; Russia, 410054, Saratov; atp@sstu.ru.

Stanislav A. Ignatiev – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Technology and Control Systems in Mechanical Engineering; Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; Russia, 410054, Saratov; ignatievsa@mail.ru.

