

УДК 621.9.079

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ СОЖ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЧУГУНА

© 2025 Ю.Б. Алякин¹, Е.М. Булыжев², А.М. Золотов³, Д.Л. Скуратов⁴, В.Г. Шуваев⁵

¹ Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

² Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Россия

⁵ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 09.09.2025

В подавляющем большинстве технологических операций смазочно-охлаждающие жидкости являются неотъемлемым элементом обеспечения механической обработки заготовок из чугуна. В статье представлены результаты исследований эффективности обработки заготовок из чугуна при функционировании синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей в централизованных системах сопровождения. Цель проведенных исследований состояла в определении особенностей механообработки заготовок из чугуна лезвийным инструментом в условиях массового производства в аспекте ресурсосбережения и экологизации при сохранении заданной технологической эффективности поточных линий. Методика исследований заключалась в оценке потерь (энтропии) объемов технологических жидкостей во времени и пространстве технологических систем, выявлении взаимосвязей между конструктивно-технологическими показателями и показателями энтропии. Неизбежные распределенные потери (энтропия 1-го рода) составляют около половины совокупной энтропии. Выявлена возможность снижения энтропии синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей.

Ключевые слова: синтетическая смазочно-охлаждающая жидкость; неизбежные распределенные потери; энтропия; срок функционирования СОЖ.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3(2)-278-282

EDN: RITHVC

ВВЕДЕНИЕ

Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) является проверенным средством обеспечения высокой производительности технологических операций лезвийной обработки заготовок из чугунов [1-5]. В последнее время при этом успешно применяются синтетические СОЖ, обладающие высокой стойкостью к внешним физико-химическим, механическим и прочим негативным воздействиям, при удовлетворительной технологической эффективности [6,7].

При анализе причин повышения объемов расходов СОЖ при функционировании была выдвинута гипотеза о том, что причиной этого являются неизбежные распределенные потери СОЖ при циркуляции (энтропия 1-го рода) и одномоментные потери при сбросах отработавших жидкостей (энтропия 2-го рода) [8].

Цель проведенных исследований заключалась в выявлении первопричин превышения потерь энтропии СОЖ над регламентируемыми и путей их снижения и оптимизации применения синтетических СОЖ в централизованных системах при механической обработке чугуна.

Основными причинами снижения сроков функционирования являются:

- неконтролируемые и некорректируемые в режиме «on-line» неизбежные распределенные потери при циркуляции СОЖ (большие значения);
- отсутствие надежного и апробированного инструментария и систем управления процессом функционирования СОЖ;

Алякин Юрий Борисович, аспирант. E-mail: kontro73@yandex.ru

Булыжев Евгений Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Инновационные технологии в машиностроении». E-mail: eugbul1946@gmail.com

Золотов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор Высшей школы физики и технологии материалов. E-mail: a_zolotov@mail.spbstu.ru

Скуратов Дмитрий Леонидович, доктор технических наук, профессор.

Шуваев Вячеслав Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты». E-mail: tmsi@samgtu.ru

– накапливание в составе синтетических СОЖ негативных изменений при их циркуляции.

Негативные внешние воздействия на состав синтетических СОЖ показаны в статье [9], а нежелательные явления, происходящие при этом в технологических жидкостях представлены в статье [10].

Необходимо отметить, что выявленный факт превышения расходов синтетических СОЖ по сравнению с нормируемым соответствует следующим критериям:

- 1) он воспроизводится при исследовании централизованных систем сопровождения функционирования СОЖ при лезвийной обработке заготовок из чугунов;
- 2) его можно легко проверить по убыли объема СОЖ после некоторого времени ее функционирования;
- 3) его можно использовать при исследованиях эффективности функционирования синтетических СОЖ в централизованных системах на предмет ресурсосбережения и экологизации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования основывалась на оценке величины потери СОЖ при ее функционировании в течение определенного времени. При оценке энтропии 1-го рода, опираясь на следующие требования [11]:

1. Согласие с фактическим материалом, подтверждающим возможность и целесообразности использования энтропии и энтропийного подхода для объяснения наблюдаемых результатов.
2. Проверимость адекватности получаемых результатов исследований.
3. Максимальная общность и возможность приложения к широкому кругу ТС.
4. Принципиальная простота выдвинутой гипотезы, состоящая в ее способности, исходя из относительно немногих оснований, объяснить и подтвердить широкий круг негативных явлений в комплексе ЦСФ.

В информационных источниках автором не обнаружены сведения о фактах использования энтропийного подхода при исследовании эффективности функционирования синтетических СОЖ в централизованных системах при лезвийной обработке заготовок из чугунов.

Объектом исследования был избран комплекс из четырех централизованных систем сопровождения её функционирования (ЦСФ4; ЦСФ58; ЦСФ55; ЦСФ2 и ЦСФ1).

Учитывали при этом следующее обстоятельства:

- а) комплекс существовал и функционирует независимо от наблюдателя на заводе двигателей ПАО «КАМАЗ»;
- б) понимание комплекса во всем многообразии ЦСФ может обеспечить его модернизацию, особенно в аспекте бережливости и экологизации;
- в) исследования нацеливали на системное изучение всех сторон, связей и свойств объекта в рамках системного подхода в условиях существующего производства.

Наблюдения отвечали требованиям:

- преднамеренности и целенаправленности поскольку проводились специально созданной группой сотрудников предприятия;
- плановости, поскольку проводились по графику;
- систематичности, потому что регулярно обсуждались.

Наблюдения проводились непосредственно на сооружениях ЦСФ с использованием простейших средств – уровнемеров, установленных в емкостях для измерения заглубления уровня СОЖ в паузах процесса циркуляции.

При описании делали упор на вид СОЖ, характер обработки, материал заготовки, общую характеристику поточной технологической линии, производительности системы, концентрацию СОЖ и емкость резервуара, число коррекций потерь объема и число замен СОЖ в год.

Исследования проводились с позиций вероятностно-детерминированного подхода при использовании вариационного параметрического анализа.

Предмет проводимого исследования – явление распределенных неизбежных потерь (энтропия 1-го рода) и периодическая замена СОЖ.

Методика исследования потерь СОЖ подробно изложены в работе [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Совокупная энтропия синтетической СОЖ варьировалась в интервале 288-1260 м³, при этом доля энтропии 1-го рода составляла 0,48-0,55 от совокупной энтропии.

Концентрация СОЖ варьировалась в интервале 2,9-5,1%. Период времени коррекции составлял 71-179 часов работы линии. Величина среднего объема потерь варьировалась при этом интервале 9,1-10,7 м³.

На рисунке 1 представлены диаграммы скорости энтропии и объемов, и по ЦСФ1, ЦСФ2, ЦСФ4, ЦСФ55, ЦСФ 58. При анализе распределение по ЦСФ (рис. «а»), (рис. «б»), (рис. «в») и (рис. «г») прослеживается наследственность структуры диаграмм. Это позволяет сделать вывод о взаимосвязи показателей энтропии 1-го и 2-го рода, а также их зависимость от скорости энтропии 1-го рода.

На рисунке 2 представлены графики зависимости от коэффициента заполнения объема резервуара ЦСФ. Зависимость линейная. Коэффициент снижения в 1,3-1,5 раза.

Таким образом, получено подтверждение возможности модернизации ЦСФ с целью снижения потерь СОЖ за счет установки аппаратуры для частой коррекции объема СОЖ и уменьшения объема заправки до от исходного объема. Но при этом необходимо провести внедрение средств неполнопоточной очистки СОЖ от тонких механических примесей и скиммеров для очистки от посторонних масел.

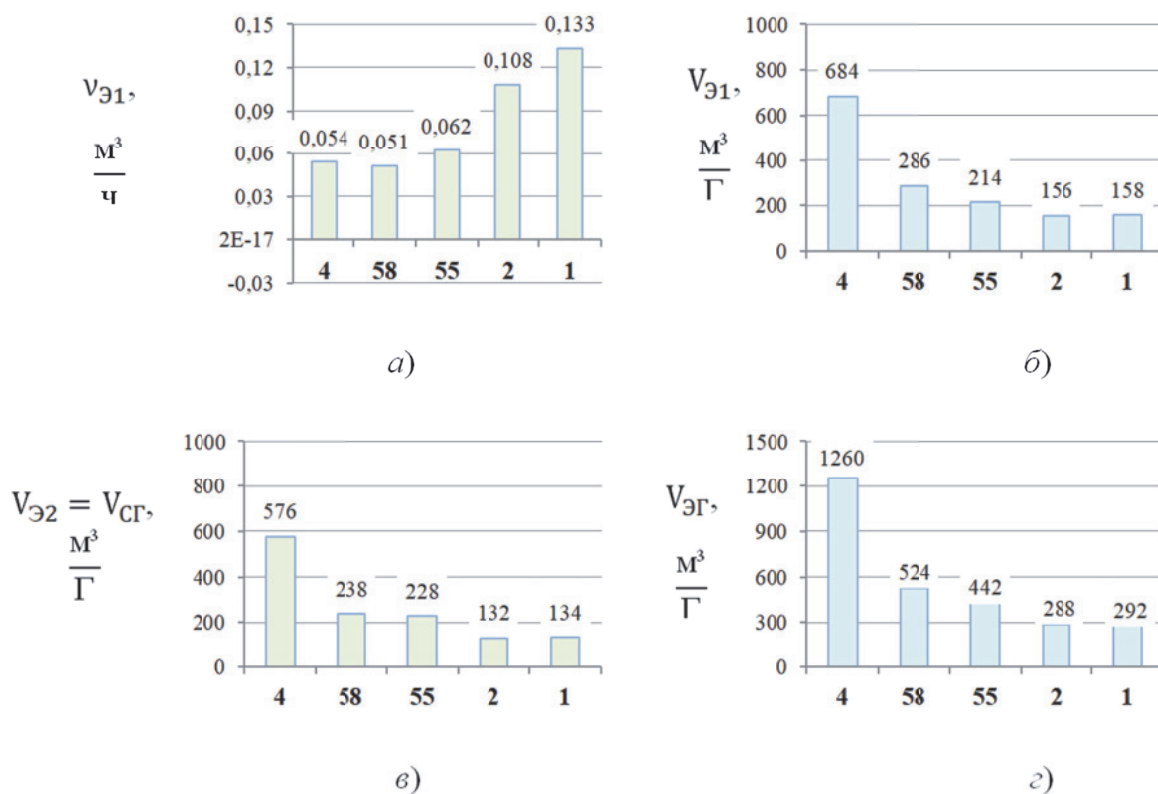


Рис. 1. Диаграмма скорости и объема энтропии по группам:
а - $v_{Э1}$; б - $V_{Э1}$; в - $V_{Э2} = V_{СГ}$; з - $V_{ЭГ}$

ВЫВОДЫ

1. Процесс механообработки заготовок из чугуна в условиях массового производства успешно осуществляется при функционировании смеси синтетических и полусинтетических смазочно-охлаждающих жидкостей в централизованных системах сопровождения.

2. Основные конструктивно-технологические показатели: производительность 720-1080 м³/ч; объем заполнения ЦСФ составил 158-171 м³; кратность обмена СОЖ 4,6-6,4 раза в час; концентрация СОЖ – 4,6-6,4%; время между моментами коррекции СОЖ 71-179 часов; объем потерь = 9,1-10,7 м³.

3. Среднее значение энтропии СОЖ 1-го рода составило 300 м³/г, 2-го рода 262 м³/г при совокупной средней энтропии 561. Средняя доля энтропии 1-го рода составила 0,53.

4. Энтропия 1-го и 2-го рода тесно связаны между собой.

5. Снижение энтропии в 1,3-1,5 раза обеспечивается при уменьшении объема заправки до .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаев, Э.Р. Смазочно-охлаждающие жидкости: свойства и методы применения / Э. Р. Бабаев // Башкирский химический журнал. – 2022. – Т. 29. – № 3. – С. 11-19. – DOI 10.17122/bcj-2022-3-11-19. – EDN OVBRVY.
2. Ларина, А.И. Механизмы действия смазочно-охлаждающих жидкостей / А. И. Ларина, И. В. Постникова // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2022. – № 3(71). – С. 59-66. – DOI 10.6060/snt.20227103.0007. – EDN HFTFFX.

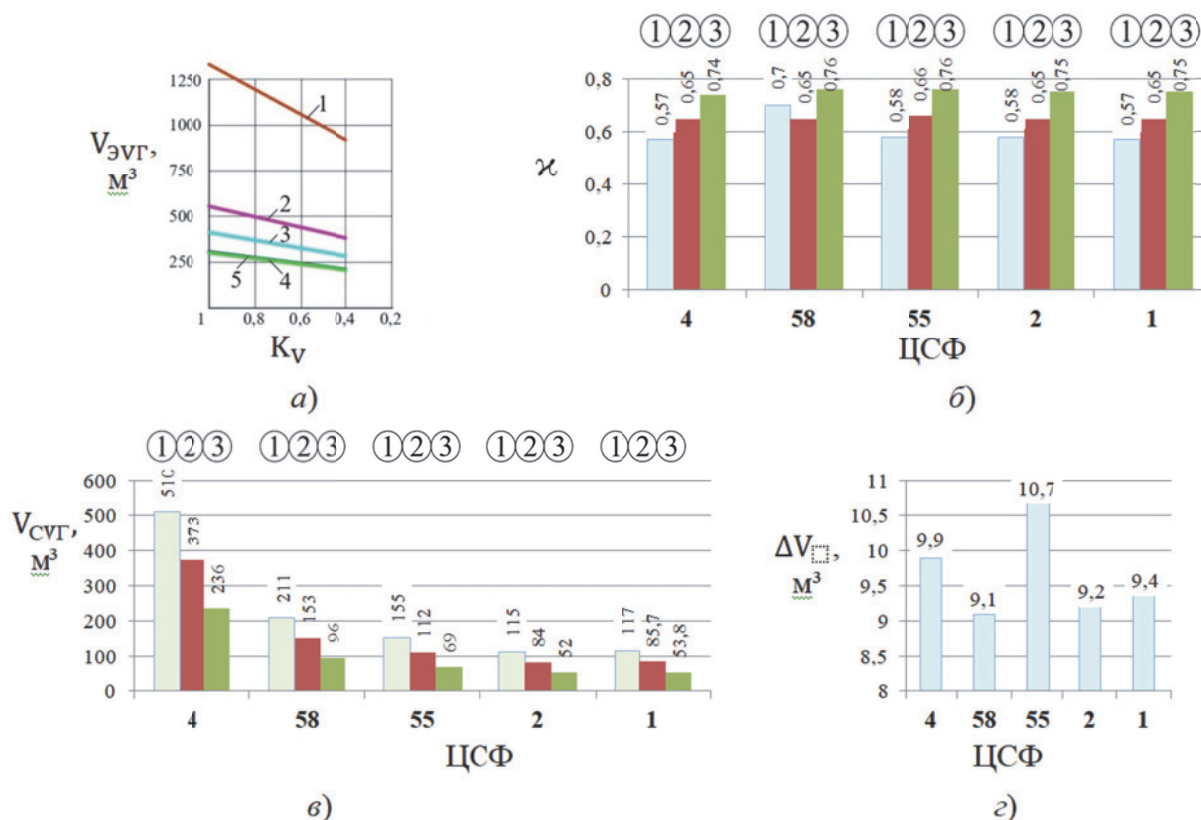


Рис. 2. Диаграмма по группам:
а - $V_{ЭВГ}$; б - η ; в - $V_{СВГ}$; г - ΔV ;

1; 2; 3 – соответственно при $\rho = 0,8; 0,6; 0,4$

3. Кисель, А.Г. Влияние СОЖ и режимов обработки на шероховатость поверхности при торцевом фрезеровании заготовок из алюминиевых сплавов / А. Г. Кисель, Д. С. Макашин // Омский научный вестник. – 2022. – № 3(183). – С. 32-36. – DOI 10.25206/1813-8225-2022-183-32-36. – EDN IDVVBK.
4. Репин, Д.С. Об эффективности активации полимерсодержащих смазочно-охлаждающих технологических средств при механической обработке металлов резанием / Д. С. Репин, А. Г. Наумов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 2(88). – С. 36-42. – EDN ZBITXG.
5. Орлов, Ю.А. Перспективы внедрения новых составов СОЖ в условиях импортозамещения / Ю. А. Орлов, В. М. Лазарев, Л. В. Беляев // Инновационное развитие образования, науки и технологий: сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции, Москва, 31 августа 2022 года. – Москва: Индивидуальный предприниматель Туголуков Александр Валерьевич, 2022. – С. 162-165. – EDN HWAHLL.
6. Пыдрин, А.В. Влияние состава смазывающе-охлаждающей жидкости на шероховатость и коррозионную стойкость поверхности деталей после механической обработки / А. В. Пыдрин, А. М. Пикина, Н. А. Ф. Наджи, М. И. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 10(280). – С. 28-31. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-10-28-31. – EDN HBNBNP.
7. Худобин, Л. В. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: СОТС: справочник / Л. В. Худобин, А. П. Бабичев, Е. М. Булыжев [и др.] ; под общей редакцией Л. В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 543 с. – ISBN 5-217-03328-2. – EDN QNBJVT.
8. Бухарина, О. В. Алгоритм определения аналога объекта на основе анализа проектной документации / О. В. Бухарина, Я. Н. Гусеница, С. В. Луговский // Информационные системы и технологии. – 2023. – № 1(135). – С. 13-19. – EDN UWOWGX.
9. Булыжев, Е.М. Оценка, контроль, мониторинг и управление качеством (стабильностью) процесса применения синтетических СОЖ при механообработке в условиях массового производства / Е.М. Булыжев, В.Н. Клячкин, В.Г. Тронин, Ю.Б. Алякин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 28. – № 5.
10. Булыжев, Е.М. Варьирование и методика оценки качества процесса применения синтетических СОЖ при механообработке в условиях массового производства / Е.М. Булыжев, В.Н. Клячкин, В.Г. Тронин, Ю.Б. Алякин, А.Ф. Денисенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 28. – № 5.
11. Горев, Я.Н. Актуальность контроля состояния смазочно-охлаждающих жидкостей в реальном времени / Я. Н. Горев // Актуальные вопросы науки. – 2024: сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 марта 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 34-35. – EDN HRSZKB.

OPTIMIZATION OF SYNTHETIC COOLANT APPLICATION IN CENTRALIZED SYSTEMS FOR CAST IRON MACHINING

© 2025 Y. B. Alyakin¹, E. M. Bulyzhev², A. M. Zolotov³, D. L. Skuratov⁴, V. G. Shuvalov⁵

¹Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

²Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

³Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

⁴Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

⁵Samara State Technical University, Samara, Russia

In the vast majority of technological operations, metalworking fluids (coolants) are an integral element for ensuring the machining of cast iron workpieces. This article presents the results of a study on the efficiency of machining cast iron workpieces when using synthetic metalworking fluids in centralized delivery systems. The aim of the conducted research was to determine the specifics of the machining of cast iron workpieces with cutting tools in mass production, focusing on resource conservation and reducing environmental impact while maintaining the designated technological efficiency of production lines. The research methodology involved assessing the loss (entropy) of process fluid volumes in time and space within technological systems, and identifying the relationships between design/technological parameters and entropy indicators. The inevitable distributed losses (first-kind entropy) account for approximately half of the total entropy. The potential for reducing the entropy of synthetic metalworking fluids has been identified.

Keywords: synthetic metalworking fluid (synthetic coolant); inevitable distributed losses; entropy; coolant service life.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3(2)-278-282

EDN: RITHBC

REFERENCES

1. Babaev, E.R. Smazochno-ohlazhdayushchie zhidkosti: svoystva i metody primeneniya / E. R. Babaev // Bashkirskij himicheskij zhurnal. – 2022. – T. 29. – № 3. – S. 11-19. – DOI 10.17122/bcj-2022-3-11-19. – EDN OVBRYV.
2. Larina, A.I. Mekhanizmy dejstviya smazochno-ohlazhdayushchih zhidkostej / A. I. Larina, I. V. Postnikova // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie. – 2022. – № 3(71). – S. 59-66. – DOI 10.6060/snt.20227103.0007. – EDN HFTFFX.
3. Kisel', A.G. Vliyanie SOZh i rezhimov obrabotki na sherohovatost' poverhnosti pri torcevom frezerovanii zagotovok iz alyuminiyevyh splavov / A. G. Kisel', D. S. Makashin // Omskij nauchnyj vestnik. – 2022. – № 3(183). – S. 32-36. – DOI 10.25206/1813-8225-2022-183-32-36. – EDN IDVVBK.
4. Repin, D.S. Ob effektivnosti aktivacii polimersoderzhashchih smazochno-ohlazhdayushchih tekhnologicheskikh sredstv pri mekhanicheskoy obrabotke metallov rezaniem / D. S. Repin, A. G. Naumov // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta. – 2020. – T. 24, № 2(88). – S. 36-42. – EDN ZBITXG.
5. Orlov, Yu.A. Perspektivy vnedreniya novyh sostavov SOZh v usloviyah importozameshcheniya / Yu. A. Orlov, V. M. Lazarev, L. V. Belyaev // Innovacionnoe razvitie obrazovaniya, nauki i tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov po materialam II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 31 avgusta 2022 goda. – Moskva: Individual'nyj predprinimatel' Tugolukov Aleksandr Valer'evich, 2022. – S. 162-165. – EDN HWAHLL.
6. Pydrin, A.V. Vliyanie sostava smazyvayushche-ohlazhdayushchej zhidkosti na sherohovatost' i korrozionnyuyu stojkost' poverhnosti detalej posle mekhanicheskoy obrabotki / A. V. Pydrin, A. M. Pikina, N. A. F. Nadzhi, M. I. Golubev // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2020. – № 10(280). – S. 28-31. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-10-28-31. – EDN HBNBNP.
7. Hudobin, L.V. Smazochno-ohlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ih primenenie pri obrabotke rezaniem: SOTS: spravochnik / L. V. Hudobin, A. P. Babichev, E. M. Bulyzhev [i dr.] ; pod obshchej redakciej L. V. Hudobina. – M.: Mashinostroyeniye, 2006. – 543 s. – ISBN 5-217-03328-2. – EDN QNBjVT.
8. Buharina, O.V. Algoritmy opredeleniya analoga ob'ekta na osnove analiza proektnoy dokumentacii / O. V. Buharina, Ya. N. Gusenica, S. V. Lugovskij // Informacionnye sistemy i tekhnologii. – 2023. – № 1(135). – S. 13-19. – EDN UWOWGX.
9. Bulyzhev E.M. Ocenka, kontrol', monitoring i upravlenie kachestvom (stabil'nost'yu) processa primeneniya sinteticheskikh SOZh pri mekhanooobrabotke v usloviyah massovogo proizvodstva / E.M. Bulyzhev, V.N. Klyachkin, V.G. Tronin, Yu.B. Alyakin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2025. – T. 28. – № 5.
10. Bulyzhev E.M. Var'irovanie i metodika ocenki kachestva processa primeneniya sinteticheskikh SOZh pri mekhanooobrabotke v usloviyah massovogo proizvodstva / E.M. Bulyzhev, V.N. Klyachkin, V.G. Tronin, Yu.B. Alyakin, A.F. Denisenko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2025. – T. 28. – № 5.
11. Gorev, Ya.N. Aktual'nost' kontrolya sostoyaniya smazochno-ohlazhdayushchih zhidkostej v real'nom vremeni / Ya. N. Gorev // Aktual'nye voprosy nauki. – 2024: sbornik statej II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 20 marta 2024 goda. – Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Yu.), 2024. – S. 34-35. – EDN HRSZKB.

Yuri Alyakin, Graduate Student. E-mail: kontrol73@yandex.ru

Evgeny Bulyzhev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Innovative Technologies in Mechanical Engineering. E-mail: eugbul1946@gmail.com

Aleksandr Zolotov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Higher School of Physics and Materials Engineering. E-mail: a_zolotov@mail.spbstu.ru

Dmitry Skuratov, Doctor of Engineering Sciences, Professor.

Vyacheslav Shuvaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Machine Tools, and Tools. E-mail: tmsi@samgtu.ru