

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ СОЖ
В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**© 2025 Ю.Б. Алякин¹, Е.М. Булыжев², В.Н. Клячкин², Д.В. Назаров^{3,4}, В.Г. Шуваев⁴¹ Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия² Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия³ Самарский федеральный исследовательский центр РАН, г. Самара, Россия⁴ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 09.09.2025

В настоящее время при механообработке широко применяются синтетические смазочно-охлаждающие жидкости, которые обладают высокой, по сравнению с водоэмульсионными жидкостями, стойкостью. Однако, нередко наблюдается сокращение срока службы синтетических смазочно-охлаждающих жидкостей по сравнению с применяемыми аналогами. В работе были проведены исследования на действующей централизованной системе функционирования, которые установили две группы потерь (энтропии): первого и второго рода. К первому роду относятся неизбежные, распределенные в пространстве и времени потери, а ко второй – одномоментные потери при залповом сбросе отработанных жидкостей. Энтропийный анализ позволяет не только уменьшить объем заправки централизованной системы при одномоментных сбросах в 1,37 раз, но и предложить пути модернизации системы с целью уменьшения потерь смазочно-охлаждающих жидкостей.

Ключевые слова: синтетическая смазочно-охлаждающая жидкость, водоэмульсионная, централизованная система сопровождения функционирования, потери, энтропия.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3(2)-283-288

EDN: RSACVX

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (Госзадания) FMRW-2025-0052.

ВВЕДЕНИЕ

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) являются неотъемлемым элементом механообработки [1-4]. В последнее время в РФ наблюдается расширение применения на промышленных предприятиях синтетических СОЖ. Это обусловлено их высокой стойкостью по отношению к внешним физико-химическим воздействиям [5]. Однако, по нашим наблюдениям выяснилось, что в ряде случаев число замен СОЖ в год резко возрастает с 30 до 80% от общего расхода СОЖ в производстве, что приводит к увеличению расходов СОЖ по сравнению с планируемым.

Цель проведенных исследований заключалась в выявлении причин замены СОЖ и залповых сбросов отработанных жидкостей. Разработка мер по повышению ресурсоэффективности синтетических СОЖ в централизованных системах механообрабатывающих производств.

Ранее в работах [6,7] освещены некоторые технологические ситуации функционирования СОЖ в комплексе из 27 централизованных систем результаты применения синтетических, полусинтетических СОЖ и их смесей в комплексе централизованных систем функционирования (ЦСФ) на предприятии массового производства при варьировании технологических ситуаций.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования заключалась в анализе опытной информации, полученной непосредственно в производстве. При анализе потерь СОЖ в процессе эксплуатации выявлены 2 канала потерь. Первый канал — это неизбежные распределенные потери, рассматриваемые как энтропия СОЖ первого рода. Количественные измерения объема, м³. Потери СОЖ в ЦСФ происходят с опре-

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

Клячкин Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная математика и информатика».

Назаров Денис Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

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

деленной скоростью v , м³/ч. В процессе функционирования СОЖ энтропия первого рода компенсируется посредством коррекции объема.

В данном исследовании изменение состава СОЖ в процессе функционирования не исследовалось, хотя ранее авторами освещались нежелательные явления, ухудшавшие состояние и состав СОЖ при их функционировании [8].

При накоплении последствий негативных воздействий на СОЖ последние приходится заменять, залпом сбрасывая отработанные жидкости на разложение [9].

Данные потери рассматривались как энтропия 2-го рода. Поскольку залповый сброс СОЖ производился одномоментно, то его скорость не учитывалась. Однако, число замен n_z , время функционирования T_r и объем залповых сбросов СОЖ при проведении исследования учитывались.

Высота уровня СОЖ в емкости пересчитывалась в объемы потерь СОЖ первого рода и фиксировалась при возвращении в емкость после завершения рабочего времени, одновременно с периодом времени. Объемы сбрасываемых СОЖ (энтропия 2-го рода) фиксировались непосредственно перед сбросом на разложение.

При исследованиях использовались следующие нижеприведенные показатели и уравнения их взаимосвязи.

1. Производительность ЦСФ Q , м³/ч;
2. Объем заправочный ЦСФ $V_{з,1}$, м³;
3. Число оборотов при циркуляции СОЖ в час в ЦСФ $n'_{цо}$;

$$n_{цо} = Q/V_z = 1/4, \quad (1)$$

4. Концентрация СОЖ α ;

$$\alpha = 100m_k / V_{СОЖ}, \quad (2)$$

где m_k - масса концентрата, м; $V_{СОЖ} = 1,0$ м³ объем СОЖ.

5. Число замен СОЖ в год n_z , 1/г

$$n_z = N_z / T_r, \quad (3)$$

где N_z - число замен; $T_r = 1$ год функционирования СОЖ.

6. Объем СОЖ на коррекцию потерь (энтропия первого рода) СОЖ в ЦСФ в год $V_{кг}$, м³

$$V_{кг} = V_{з,1}.$$

7. Масса концентрата при коррекции СОЖ в год, $M_{кг}$

$$M_{кг} = V_{кг} \cdot \alpha / 100. \quad (4)$$

8. Средняя скорость потерь объема, (энтропии) СОЖ в ЦСФ, независимо от снижения объема $V_{з,1}$

$$v_z = V_{кг} / T_r, \quad (5)$$

где $T_r = 4200$ - действительный годовой фонд времени, ч.

9. Среднее время коррекции ΔT_r , ч;
10. Средний объем разовой коррекции

$$\Delta V = v_z \cdot \Delta T_r, \text{ м}^3. \quad (6)$$

11. Годовой объем залповых сбросов (энтропии 2-го рода)

$$V_{сг} = V_{з,2}(V_z - \Delta V) \cdot n_z, \text{ м}^3, \quad (7)$$

12. Годовой объем потерь (энтропии) СОЖ $V_{пг}$, м³

$$V_{зг} = V_{пг} = V_{кг} + V_{сг}, \text{ м}^3, \quad (8)$$

13. Годовая масса концентрата в потерях (энтропии) СОЖ, $M_{пг}$, м³.

14. Относительный объем энтропии 1-го рода

$$\alpha_e = V_{кг} / V_{пг}, \text{ м}^3, \quad (9)$$

15. Объем емкости с учетом коэффициента снижения заправочного объема СОЖ

$$V_{з,н} = V_z \cdot k_n, \quad (10)$$

где $k_n = 0,95; 0,7; 0,6; 0,5$ - коэффициент снижения объема емкости при модернизации.

Вся собранная информация фиксировалась к конкретной централизованной системе содействия функционирования (ЦСФ) СОЖ. Все ЦСФ разбили на кластеры (группы), характеризующиеся качественными показателями. В их число входили: материал заготовки детали, вид процесса обработки и вид СОЖ, а также типоразмер обрабатываемых заготовок.

Внутри кластера ранжирование технологических ситуаций проводили по величине n_3 , полученного опытным путем. Далее проводили обработку полученных результатов по вышеприведенным формулам.

На рисунке 1 представлены средние значения годовых показателей энтропии первого и второго рода, а также совокупной энтропии (1б-1г) и скорости энтропии первого порядка (1а).

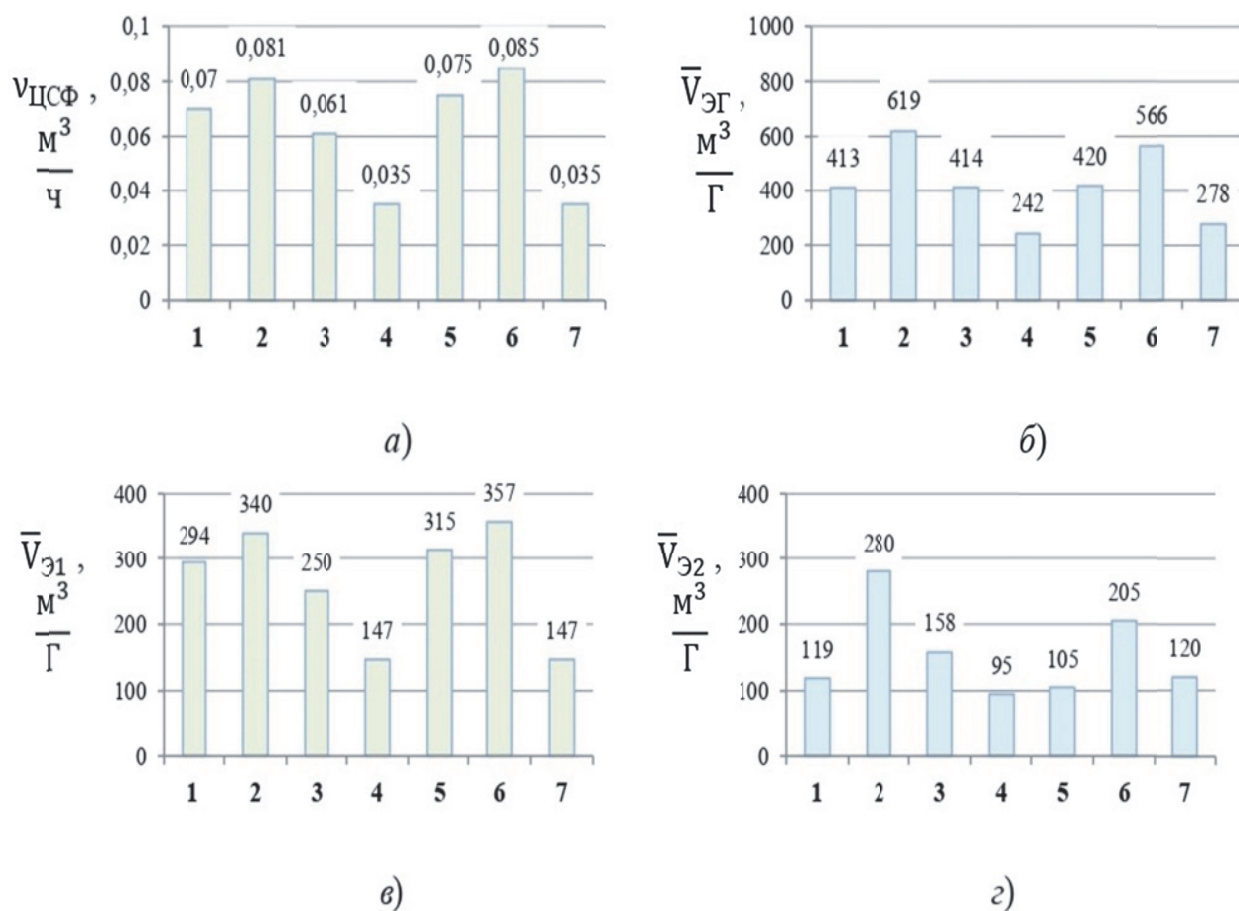


Рис. 1. Диаграмма скорости энтропии (а) и объема энтропии по группам (таблица 1):

а – $V_{\text{ЦСФ}}$; б – $\bar{V}_{\text{ЭГ}}$; в – $\bar{V}_{\text{Э1}}$; г – $\bar{V}_{\text{Э2}}$

При сопоставлении диаграмм по кластерам хорошо просматривается наследственность в виде структуры группы диаграмм по кластерам. Таким образом опытным путем подтверждена возможность и адекватность оценки показателей $V_{\text{Э1}}$; $V_{\text{Э2}}$; $V_{\text{ЭГ}}$, наследующих структуру распределения величины оценки скорости, оценки энтропии 1-го рода, значение которой в дальнейшем наследуется структурой распределения величины энтропии 2-го рода. Естественно структура распределения величины совокупной годовой энтропии наследует структуру распределения величины энтропии 1-го и 2-го рода. Расчет энтропийных показателей представлен в таблице 1.

На рисунке 2 показаны ранжированные диаграммы относительных показателей скорости энтропии (по объему СОЖ и массе концентрата $V_{\text{Э1}}/V_{\text{Э}}$, “а” и $\Delta m_{\text{Э1}}/m_{\text{Э}}$, “б”). Наиболее расточительными относительно совокупной годовой энтропии по объему являются кластеры 1 и 2, а по массе особенно выделяется первая группа при $\Delta m_{\text{Э1}}/m_{\text{Э}} = 0,575$.

Наименее значимые относительные энтропии характерны для 5 и 7 кластеров. Таким образом, появляется возможность выработки технологических рекомендаций по проектированию ЦСФ с учетом реальных значений энтропии СОЖ в процессе функционирования. Но сегодня подобные рекомендации отсутствуют.

В качестве одного из методов управления энтропией 2-го рода авторами предложена модернизация существующих ЦСФ посредством уменьшения объема емкостей ЦСФ, а, следовательно, и уменьшение объемов сброса СОЖ $V_{\text{сг}}$ и энтропии 2-го рода. При этом энтропия 1-го рода не затрагивается, а частота коррекции объема должна быть достаточно частой, чтобы не приводить к опустошению емкостей и предотвратить кавитацию насосов ЦСФ.

Таким образом, прием уменьшения рабочего объема СОЖ в ЦСФ при модернизации системы управления позволяет значительно уменьшить энтропию СОЖ.

Таблица 1. Расчет энтропийных показателей ЦСФ синтетических СОЖ при обработке заготовок из чугуна

№ п/п	Параметр			Ед.изм	ЦСФ					Ср. знач.
					4	58	55	2	1	
1	n_3			1/Г	4	2	1,5	1	1	1,9
2	Q			м ³ /ч	1080	720	720	720	720	792
3	V_3			м ³	171	143	143	156	158	154
4	α			%	4,7	4,3	2,9	5,1	3,6	4,1
5	$n'_{ц0}$			1/ч	6,4	5,1	5,1	4,7	4,6	5,2
6	$v_{э1}$			м ³ /ч	0,054	0,051	0,062	0,108	0,133	0,082
7	$V_{э1}$			м ³	684	286	214	156	158	300
8	$V_{сг}$			м ³	576	238	228	132	134	262
9	$V_{эг}$			м ³	1260	524	442	288	292	561
10	κ			-	0,54	0,54	0,52	0,54	0,54	0,54
11	$\Delta T_{п}$			ч	171	179	178	88	71	137
12	ΔV			м ³	9,7	9,1	10,7	9,2	9,4	9,6
13	$V_{свг}$	при K_v	0,8	м ³	510	211	155	115	117	222
14			0,6	м ³	373	153	112	84	85,7	162
15			0,4	м ³	236	96	69	52	53,8	101
16	$V_{эвг}$	при K_v	0,8	м ³	1194	497	369	271	275	521
17			0,6	м ³	1057	439	326	240	243	461
18			0,4	м ³	920	382	283	208	211	401
19	κ_{K_v}	при K_v	0,8	-	0,57	0,57	0,58	0,58	0,57	0,57
20			0,6	-	0,65	0,65	0,66	0,65	0,65	0,65
21			0,4	-	0,74	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75

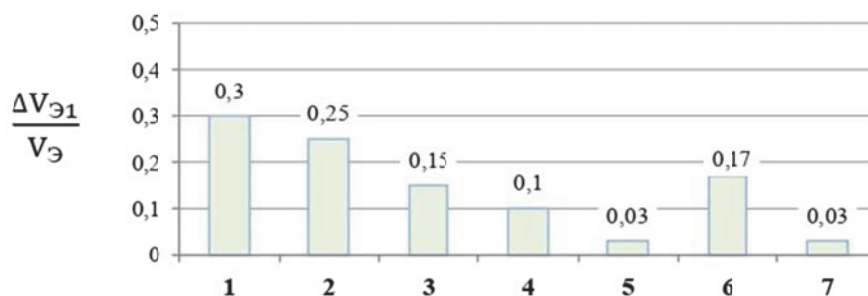
ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования потерь (энтропии) СОЖ в централизованных системах сопровождения их функционирования в массовых производствах при варьировании технологических ситуаций.

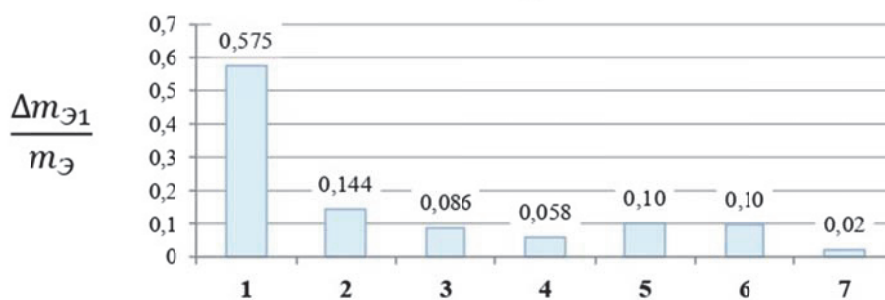
2. Показано, что при сопоставлении энтропии эксплуатируемых ЦСФ выявляются энтропия 1-го рода (неизбежные распределенные в пространстве и во времени потери) и 2-го рода (одномоментный залповый сброс). Энтропия 1-го и 2-го родов вероятно связаны с друг другом. Энтропия СОЖ определяет ресурсосбережение и экологизацию централизованных систем сопровождения.

Группа №						
1	2	3	4	5	6	7
Материал						
АЛ	Ч	СТ				Ч
Вид обработки						
Л			Ш	Л		Ш
СОЖ						
ГЖ	СЖ			ПСЖ	ГЖ	СЖ

а)



б)



в)

Рис. 2. Энтропийные показатели технологических ситуаций:

а – технологическая ситуация; б – $\frac{\Delta V_{э1}}{V_{э}}$; в – $\frac{\Delta m_{э1}}{m_{э}}$

3. Расчетами подтверждено, что можно уменьшить потери СОЖ со сбросами (энтропия 2-го рода) в 1,37 раза за счет уменьшения объема ЦСФ в 2 раза.

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 OVBRYV.
2. Sabarinathan C. et al. Influence on tool life when adding nanoparticles with cutting fluid //Materials today: Proceedings. – 2020. – Т. 33. – P.2940-2954.
3. Li H. et al. Cutting fluid corrosion inhibitors from inorganic to organic: progress and applications // Korean Journal of Chemical Engineering. – 2022. – Т. 39. – No. 5. – P. 1107-1134.
4. 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.
5. 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.
6. Булыжев, Е.М. Предотвращение залповых сбросов синтетических и полусинтетических смазочно-охлаждающих жидкостей и уменьшение объемов заправки емкостей централизованных систем её применения при металлообработке / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин, Ю.Б. Алякин // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 4 (60). – С. 7-19.

7. Булыжев Е.М. Повышение срока эксплуатации синтетических и полусинтетических смазочно-охлаждающих жидкостей в централизованных системах применения при механической обработке заготовок деталей / Е.М. Булыжев, Л.В. Худобин, Ю.Б. Алякин // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 4 (60), – С. 19-26.
8. 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.
9. Булыжев, Е.М. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке / Е. М. Булыжев, Л. В. Худобин. – М.: Машиностроение, 2004. – 352 с. – ISBN 5-217-03266-9. – EDN SUHPAJ.

ENHANCING THE RESOURCE EFFICIENCY OF SYNTHETIC COOLANTS IN CENTRALIZED MACHINING SYSTEMS

© 2025 Yu.B. Alyakin¹, E.M. Bulzhev², V.N. Klyachkin², D.V. Nazarov^{3,4}, V.G. Shuvalov⁴

¹Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

²Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

³Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

⁴Samara State Technical University, Samara, Russia

Currently, synthetic metalworking fluids (MWFs) are widely used in machining due to their significantly higher stability compared to water-emulsion fluids. However, a reduction in the service life of synthetic MWFs is often observed compared to their counterparts. Research was conducted on an operational centralized delivery system, which identified two categories of losses (entropy): first-kind and second-kind. The first category comprises inevitable, distributed losses in space and time, while the second category consists of one-time losses during the batch discharge of spent fluids. Entropy analysis not only allows for a 1.37-fold reduction in the volume of coolant required for charging the centralized system during batch discharges but also suggests ways to modernize the system to minimize metalworking fluid losses.

Keywords: synthetic metalworking fluid, water-emulsion coolant, centralized delivery system, losses, entropy.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3(2)-283-288

EDN: RSACVX

*The work was carried out with the framework of the government order
of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FMRW-2025-0052)*

REFERENCES

1. Babaev, E.R. Smazochno-ohlazhdayushchie zhidkosti: svoystva i metody primeneniya / E. R. Babaev // Bashkirskij himicheskij zhurnal. – 2022. – T. 29. – № 3. – С. 11-19. – DOI 10.17122/bcj-2022-3-11-19. – EDN OVBRYV.
2. Sabarinathan C. et al. Influence on tool life when adding nanoparticles with cutting fluid //Materials today: Proceedings. – 2020. – T. 33. – P.2940-2954.
3. Li H. et al. Cutting fluid corrosion inhibitors from inorganic to organic: progress and applications // Korean Journal of Chemical Engineering. – 2022. – T. 39. – No. 5. – P. 1107-1134.
4. Hudobin, L.V. Smazochno-ohlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ih primeneniye pri obrabotke rezaniem: SOTS: spravochnik / L. V. Hudobin, A. P. Babichev, E. M. Bulzhev [i dr.] ; pod obshchej redakciej L. V. Hudobina. – М.: Mashinostroenie, 2006. – 543 s. – ISBN 5-217-03328-2. – EDN QNBjVT.
5. 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). – С. 36-42. – EDN ZBITXG.
6. Bulzhev, E.M. Predotvrashchenie zalpovyh sbrosov sinteticheskikh i polusinteticheskikh smazochno-ohlazhdayushchih zhidkostej i umen'shenie ob'emov zapravki emkostej centralizovannyh sistem eyo primeneniya pri metalloobrabotke / E.M. Bulzhev, L.V. Hudobin, Yu.B. Alyakin// Sistemy. Metody. Tekhnologii. – 2023. – № 4 (60). – С. 7-19.
7. Bulzhev, E.M. Povyshenie sroka ekspluatatsii sinteticheskikh i polusinteticheskikh smazochno-ohlazhdayushchih zhidkostej v centralizovannyh sistemah primeneniya pri mekhanicheskoy obrabotke zagotovok detalej / E.M. Bulzhev, L.V. Hudobin, Yu.B. Alyakin // Sistemy. Metody. Tekhnologii. – 2023. – № 4 (60), – С. 19-26.
8. Larina, A.I. Mekhanizmy dejstviya smazochno-ohlazhdayushchih zhidkostej / A. I. Larina, I. V. Postnikova // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie. – 2022. – № 3(71). – С. 59-66. – DOI 10.6060/snt.20227103.0007. – EDN HFTFFX.
9. Bulzhev, E.M. Resursosberegayushchee primeneniye smazochno-ohlazhdayushchih zhidkostej pri metalloobrabotke / E. M. Bulzhev, L. V. Hudobin. – М.: Mashinostroenie, 2004. – 352 s. – ISBN 5-217-03266-9. – EDN SUHPAJ.

Yuri Alyakin, Graduate Student. E-mail: kontro73@yandex.ru

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

Vladimir Nikolaevich Klyachkin, Doctor of Engineering Sciences, Professor in the Department of Applied Mathematics and Computer Science.

Denis Viktorovich Nazarov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor in the Department of Mechanical Engineering Technology, Machine Tools, and Tools.

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