

УДК 621.9.079

ВАРЬИРОВАНИЕ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ СОЖ ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2025 Е.М. Булыжев¹, В.Н. Клячкин¹, В.Г. Тронин¹, Ю.Б. Алякин², А.Ф. Денисенко³

¹ Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

² Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

³ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 25.06.2025

В связи с продвижением в РФ синтетических СОЖ с высокой способностью противостоять негативным внешним воздействиям при управлении производственным процессом металлообработки были проведены исследования работоспособности по времени. Варьирование СОЖ исследовали с позиций вероятностно-детерминированного подхода на комплексе из 27 централизованных систем в течение периода времени между заменами. Для этого выполнили формирование цифровой информации значений скорости неизбежных потерь СОЖ на всех ЦСП комплекса с варьированием эксплуатационных показателей.

Ключевые слова: синтетическая смазочно-охлаждающая жидкость, централизованная система применения, неизбежные распределенные потери, контроль, мониторинг

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-5-62-67

EDN: MFVLIS

ВВЕДЕНИЕ

Повышенный срок эксплуатации синтетических и полусинтетических (СиПС) СОЖ стал стимулом для повышения производительности процессов механической обработки [1]. Однако нередко на практике выявляли случаи многократного снижения срока эксплуатации синтетических СОЖ между заменами [2]. Установленные причины снижения срока эксплуатации синтетической СОЖ:

- неконтролируемые и не компенсируемые в реальном времени неизбежные потери объема СОЖ в зоне обработки;
- отсутствие инструментария контроля процессом эксплуатации СОЖ при обработке заготовок деталей;
- контроль изменений в составе СОЖ, вызывающее снижение её технологической эффективности и приводящее к необходимости её замены.

Выявленные причины снижения эффективности от потери синтетических СОЖ по сравнению с рекомендуемым отвечает следующим негативным явлениям, проявляющимся в качестве СОЖ, представлены в табл. 1 [3].

Таким образом, установлено, что синтетическая СОЖ теряет часть объема при прохождении зоны резания, а неизбежные потери отражают эффективность эксплуатации СОЖ и технологическую эффективность производства.

В соответствии с этим скорость потерь СОЖ v , м³/ч, можно принять в качестве критерия качества применения самой синтетической СОЖ и технологической эффективности производства, в котором они используются.

В табл. 2 приведены причины и последствия от потери СОЖ при обработке во времени.

Анализ причин изменения уровня СОЖ в емкости, соотносимых с временем достижения ΔT , позволяет оценить величину, объем и скорость потерь СОЖ за время ΔT , а также среднюю величину в случае их варьирования.

В литературных источниках не обнаружены сведения о проведении и методах организации экспериментальных исследований эксплуатационной эффективности комплекса централизованных систем применения СОЖ.

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». E-mail: v_kl@mail.ru

Тронин Вадим Георгиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы». E-mail: vadingt77@gmail.com

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

Александр Федорович Денисенко, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты». E-mail: sammortor@yandex.ru

Таблица 1. Временной анализ развития технологии применения СОЖ

Период времени		Срок эксплуатации между заменами	СОЖ	ТП применения СОЖ
XX век	20-60 годы	1 неделя	Разовое приготовление СОЖ с простейшей рецептурой	Смешивание компонентов с водой. Циркуляция в технологической системе
	60-90 годы	4-8 недель	Приготовление на основе концентратов	То же + очистка от механических примесей
XXI век	90-10 годы	24-72 недели	Системная технология ресурсосберегающего экологизированного применения СОЖ «ВИТА». Развитый ТП применения, включая восстановление	
	10-2 годы	24-48 недель	Приготовление на основе концентратов синтетических СОЖ	Очистка от механических примесей и циркуляция, упрощение и снижение системности
	20-30 годы	48-72 недели	То же	Системная технология «ВИТА» – 2
	30-40 годы	24-48 недель	Приготовление СОЖ с дисперсными частицами	
	40-50 годы	48-120 недель	То же	

ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью проведенных исследований являлось выявление области варьирования объемов неизбежных потерь СОЖ при эксплуатации на разнообразных технологических операциях.

Объектом исследования был избран комплекс водных СОЖ, в том числе, синтетических, полусинтетических и их смесей, применяемых при механической обработке.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В связи с отсутствием сколько-нибудь обоснованных методологических разработок по исследованию процессов применения СОЖ с учетом специфики технологических поточных линий в условиях массового производства, на начальном этапе осуществляли анализ уже накопленной информации об исследуемом комплексе ЦСП и устанавливалась ситуация со стабильностью ($v' = \text{const}$) и нестабильностью ($v' \neq \text{const}$) скорости потерь объемов СОЖ за один цикл оборота в ЦСП.

Наблюдения производились непосредственно на сооружениях ЦСП СОЖ комплекса, с использованием простейших средств, установленных на емкостях, например, уровнемеры для измерения значений заглубления уровня СиПС СОЖ в паузах процесса её периодической циркуляции на поточных линиях механообработки конкретных заготовок и на всех других этапах эксплуатации жидкости и др.

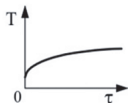
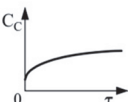
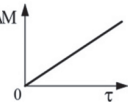
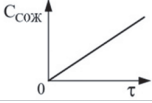
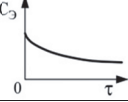
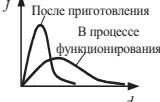
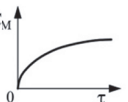
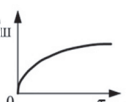
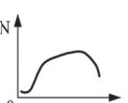
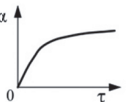
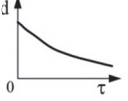
Описание проводили в соответствии с особенностями технологической ситуации (ТС) ЦСП СиПС СОЖ.

При качественном описании упор делали на вид СОЖ, характер обработки, материал заготовки обрабатываемой детали, а так же общую характеристику поточной технологической линии, в том числе автоматической. Качественное описание передавало общее знание о комплексе ЦСП. Качественное описание при исследовании предполагало числовую характеристику свойств, сторон и связей (внешних и внутренних) элементов ЦСП комплекса. Например, производительность ЦСП, объем емкостей для СОЖ, число оборотов СОЖ в единицу времени при ее циркуляции $n'_{\text{цп}}$, число коррекций потери объемов и число их замен.

Исследования проводились с позиций вероятностно-детерминированного подхода при использовании вариационного параметрического анализа. При исследованиях производили оценку потерь СОЖ, по данным ЦСП и технологических операций.

Оценку скорости потерь СОЖ производили посредством замера заглубления уровня ДН в течение ΔT в емкости ЦСП в ночное время, в перерыве при остановке системы и упокоении уровня.

Таблица 2. Карта факторов , влияющих на процесс эксплуатации синтетической СОЖ

№ п/п	Процессы и факторы, ухудшающие функциональные свойства СОЖ	Следствия	Характер изменения параметров процесса ^{*)}
1.	Теплообмен в зоне механической обработки, сжатие в насосах	Нагрев СОЖ	
2.	Испарение водной фазы в зоне механической обработки при разбрызгивании, на открытых поверхностях	Накопление солей жесткости в СОЖ. Потеря объема СОЖ и концентрации	
3.	Пиролиз и гидролиз в зоне механической обработки	Деструкция композиции СОЖ	
4.	Унос со стружкой и заготовкой, угар и разбрызгивание в зоне резания, утечки, расслоение	Потеря СОЖ	
		Изменение концентрации СОЖ	
5.	Потеря ПАВ со стружкой, при разбрызгивании, биопоражение	Деструкция состава СОЖ	
6.	Утечки с оборудования, поверхности заготовок	Накопление инородного масла	
7.	Смыв стружки из зоны механической обработки	Накопление тонких механических примесей (графита), возникающих при трении, и стружки	
8.	Бактериальное поражение	Развитие микрофлоры	
9.	Воздействие энергетических полей (магнитного)	Активация СОЖ	
10.	Недостаточная эффективность очистки	Накопление тонких фракций механических частиц	

^{*)} Обозначения: τ – время; T – температура; ΔM – изменение массы микроорганизмов; $c_z, c_m, c_{ш}$ – концентрация соответственно эмульсора, инородных масел и шлама в СОЖ; f – частота; $\bar{d}$ – размер частиц шлама; α – поляризуемость молекул СОЖ

На рисунке 1 показана упрощенная гидравлическая схема централизованной системы применения СОЖ и элементы схемы. В состав схемы входят: 1, 3 – грязевой и чистой отсеки емкости; 2 – задвижка; 4,10 – насос центробежный; 5, 9 – трубопровод; 6 – технологическая линия; 7 – самоточные технологические лотки; 8 – установка фильтрования; 11 – промежуточная емкость комплекса ЦСП.

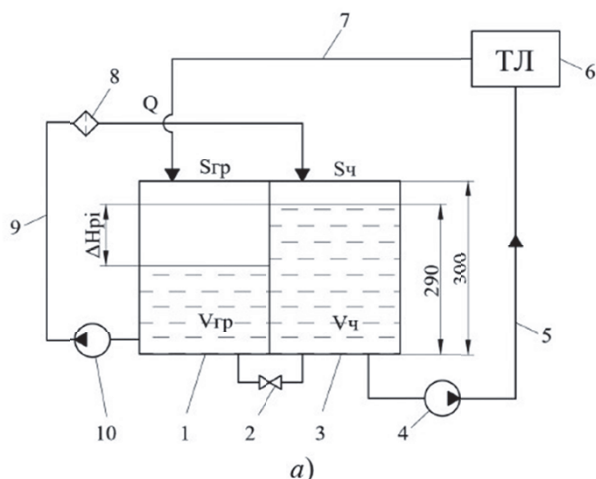


Рис. 1. Упрощенная гидравлическая схема ЦСП

расчета основных показателей ЦСП, характеризующих ее эксплуатационную эффективность.

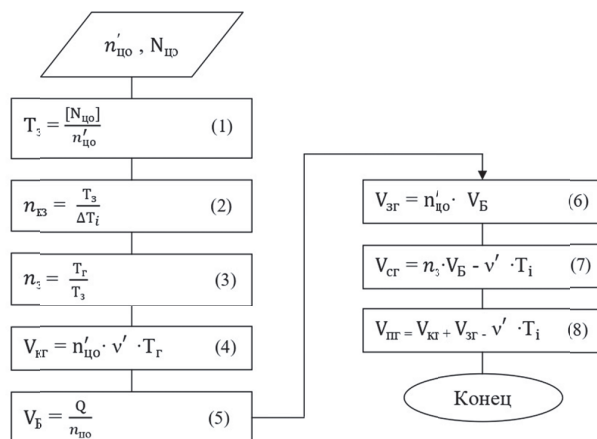


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения конструктивно-технологических показателей ЦСП

Расшифровка показателей, представленных на рисунках 2:

- Q – производительность ЦСП, $\text{м}^3/\text{ч}$;
- $n_{\text{ц0}}$ – проектное число циклов оборота СОЖ через зону обработки заготовки с учетом поправки при высоте бака $H_{\text{б}} = 300$ см, заполненном в начальный момент времени на 290 см;
- $n'_{\text{ц0}}$ – практическое число циклов оборота, $1/\text{ч}$;
- n'_3 – целочисленная часть величины n_3 , $1/\text{г}$;
- $V_{\text{зг}}$ – годовой объем замен СОЖ, $\text{м}^3/\text{г}$;
- $V_{\text{зг}}$ – годовой объем сбрасываемой отработанной СОЖ, $\text{м}^3/\text{г}$;
- $V_{\text{зг}}$ – годовой объем распределенных неизбежных потерь (энтропии) СОЖ, $\text{м}^3/\text{г}$;
- $V_{\text{зг}}$ – годовой объем репродукции (добавок) СиПС СОЖ при коррекции и замене, $\text{м}^3/\text{г}$;
- $V_{\text{зг}}$ – годовой объем приготовления СОЖ, $\text{м}^3/\text{г}$;
- ΔV_i и $\Delta V_{\text{зг}}$ – потеря СОЖ в i -м цикле коррекции в период между смежными моментами коррекции и средняя по году эксплуатационная потеря СОЖ, м^3 ;
- ΔT_i – период времени 1-го цикла коррекции и средний по году период времени коррекции, ч;
- v_i и $\bar{v}_i$ – скорость потери СОЖ в i -ом цикле коррекции и средняя по году скорость потерь СОЖ, $\text{м}^3/\text{ч}$;
- число циклов коррекции за год, $1/\text{г}$.

Потери объема СОЖ ΔV_2 приняты в качестве базы для расчета значения скорости энтропии v_i :

$$v_i = \frac{\Delta V_i}{\Delta T_i}; \quad v_{\text{иф}} = \Sigma \Delta V_i / \Sigma \Delta T_i,$$

В дальнейшем $v_{i \text{ ср}}$ будет принято в качестве индикативного критерия энтропии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рисунке 3 представлены временные ряды варьирования средних значений скорости распределенных неизбежных потерь объемов СОЖ в период между коррекциями. Временной ряд охватывает период времени между смежными заменами СОЖ. Протяженность и количество зон ста-

бильности и нестабильности (критерий качества) для всех технологических ситуаций варьируются в достаточно широком интервале.

Анализ совокупности (рисунок 3) показал следующее:

1) всем технологическим ситуациям, соответствующим применению синтетических и полусинтетических СОЖ в ЦСП, присущи проявления зон стабильности или нестабильности скорости распределенных неизбежных потерь v , м³/ч, или v' , м³/об;

2) варьирование количества, зон стабильности и нестабильности v и v' наблюдается отдельно для ситуации у всех ЦСП;

3) отсутствует информация о возможности раздельной оценки эффективности СОЖ, ЦСП и технологической линии, во всех случаях зафиксирована интегрированная оценка эффективности по принципу матрешки (вложенных систем) [3].

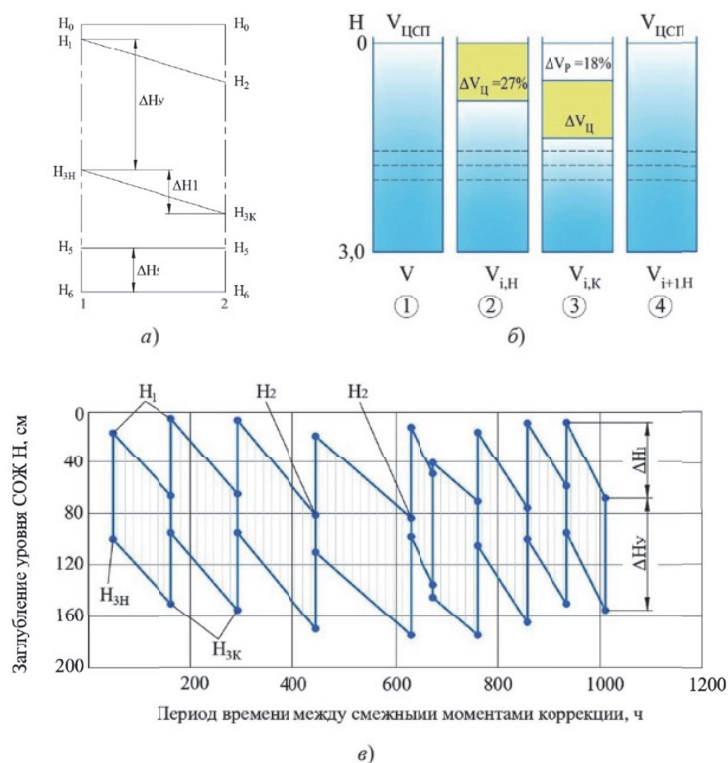


Рис. 3. Схема изменения заглубления уровней и объемов СиПС СОЖ в емкости ЦСП комплекса:
а - расчетная схема; б - схема состояний СиПС СОЖ в емкости ЦСП в процессе эксплуатации в момент (замены) “1” и “4”, при первоначальной подаче СОЖ в ЦСП “2” и в конечный момент перед коррекцией объема “3”; в - временной ряд изменений заглубления уровней

На рисунке 3 показана расчетная схема заглубления уровня СОЖ в емкости вследствие потерь при циркуляции (обороте) жидкости в ЦСП и зоне обработки.

Обозначения уровней заглубления, см:

- H_0 – верхний край емкости – точка отсчета заглубления уровня, см;
- H_1 – уровень заполнения емкости, см;
- H_2 – уровень, находящейся в ёмкости СОЖ, после суммарной её потери за период безкоррекционной (безкомпенсационной) ее эксплуатации, см;
- $H_{3м}$ – уровень СОЖ, возникающий вследствие заполнения ею трубопроводов, станков технологической линии, лотков стока до возврата в емкость ЦСП, см;
- $H_{3к}$ – уровень заглубления СОЖ в емкости перед коррекцией объема, см;
- H_5 – уровень заглубления СОЖ, обеспечивающий предотвращение попадания воздуха в насос во избежание кавитации, см;
- H_6 – заглубление дна емкости, см.
- ΔH_2 – перепады заглублений, возникающий вследствие потерь (энтропии) СОЖ за безкоррекционный период ее эксплуатации, см;
- ΔH_5 – перепад заглубления уровня, позволяющий избежать засасывания насосом воздуха, см;
- $\Delta H_{ц}$ – перепад заглубления уровня, возникающий вследствие заполнения инфраструктуры ЦСП циркулирующей жидкостью.

$$H_{3н} = H_0 - H_1 - \Delta H_{ц}; \quad H_{3к} = H_0 - H_1 - \Delta H_2 - \Delta H_5.$$

Очевидно, что использование ν и ν' для оценки качества применения СОЖ, ЦСП и технологического качества производственной системы по ТС и в целом целесообразно для ситуационного «усредненного» восприятия положения, складывающегося на производстве СОЖ ТС и ЦСП, в том числе, как по ЦСП N, так и по комплексу в целом.

Во многих случаях в значении точных количественных результатов нет необходимости, а вот в надежной и своевременной оценке с помощью «баллов» есть необходимость.

ВЫВОДЫ

1. Выполнены исследования по оценке состояния гибридной производственной системы, организованной по принципу матрешки «СОЖ – ЦСП – производственная технологическая линия».

2. Подтверждена возможность такой оценки для всех исследованных ситуаций с применением СОЖ во всех ЦСП комплекса.

3. На основе использования такой оценки непрерывно в «on-line» режиме возможен мониторинг и ситуационное управление производственной системой, функционирующей с централизованным применением СОЖ. Такой способ оценки относится к индикативным.

4. Полученная информация упрощает управление производством, позволяет получить информацию для планирования последующих длительных периодов в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. Худобин, Л. В. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием : СТОС: 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.

VARIATION AND METHODOLOGY OF QUALITY ASSESSMENT OF THE PROCESS OF USING SYNTHETIC COOLANTS IN MECHANICAL PROCESSING UNDER MASS PRODUCTION CONDITIONS

© 2025 E.M. Bulyzhev¹, V.N. Klyachkin¹, V.G. Tronin¹, Yu.B. Alyakin³, A.F. Denisenko³

¹ Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

² Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

³ Samara State Technical University, Samara, Russia

The article was received by the editorial office on 00.00.2025 In connection with the promotion of synthetic coolants in the Russian Federation with a high ability to withstand negative external influences in the management of the metalworking production process, time efficiency studies have been conducted. The variation of coolant was studied from the standpoint of a probabilistically deterministic approach on a complex of 27 centralized systems during the time period between replacements. For this purpose, digital information was generated on the values of the rate of inevitable coolant losses at all DSP of the complex with varying operational parameters.

Keywords: synthetic coolant, centralized application system, unavoidable distributed losses, control, monitoring.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-5-62-67

EDN: MFVLIS

REFERENCES

1. Repin, D. S. On the effectiveness of activation of polymer-containing lubricating and cooling technological means in the mechanical processing of metals by cutting / D. S. Repin, A. G. Naumov // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. – 2020. – Vol. 24, No. 2(88). – pp. 36–42. – EDN ZBITXG.
2. Babaev, E. R. Lubricants and coolants: properties and methods of application / E. R. Babaev // Bashkir Chemical Journal. – 2022. – Vol. 29, No. 3. – pp. 11–19. – DOI 10.17122/bcj-2022-3-11-19. – EDN OVBRYV.
3. Khudobin, L. V. Lubricating and cooling technological means and their use in cutting processing : STS: handbook / L. V. Khudobin, A. P. Babichev, E. M. Bulyzhev [et al.] ; under the general editorship of L. V. Khudobin. – M. : Scientific and Technical Publishing house “Mashinostroenie”, 2006. – 543 p. – ISBN 5-217-03328-2. – EDN QNBjVT.

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

Vladimir Klyachkin, Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Science. E-mail: v_kl@mail.ru
Tronin Vadim, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems. E-mail: vadingt77@gmail.com
Yuri Alyakin, Graduate Student. E-mail: kontrol73@yandex.ru

Alexander Denisenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Machine Tools and Tools. E-mail: sammortor@yandex.ru