

УДК 621.9

*В. С. Раднюк, А. Г. Наумов, В. Н. Латышев, Е. А. Баранцева\**

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДА  
В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА СОТС**

**SOME ASPECTS OF IODINE APPLICATION  
AS A CUTTING FLUID COMPONENT**

Ивановский государственный университет,  
153025 Иваново, ул. Ермака, д. 39

\*Ивановский государственный энергетический университет,  
153003 Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корп. А

*На примере использования магнитных микрокапсул индустриального масла с присадками йода рассмотрена возможность использования жидких кристаллов в качестве компонентов смазочно-охлаждающих технологических средств при лезвийной обработке металлов. Установлено, что использование жидких кристаллов в виде микрокапсул может значительно расширить интервал температур, при которых жидкие кристаллы, используемые в качестве компонентов СОТС, дают максимальный эффект.*

**Ключевые слова:** жидкие кристаллы, смазочно-охлаждающие технологические средства, магнитные микрокапсулы, лезвийная обработка, йодсодержащие компоненты, контактная зона, ювенильная поверхность.

*The possibility of use of liquid crystals as cutting fluid components for blade cutting of metals was considered on the example of the magnetic microcapsules of industrial oils with iodine additives. It was established that the use of liquid crystals in the form of microcapsules can significantly increase/broaden the range of temperatures at which liquid crystals, applied as cutting fluid components, have the maximum effect.*

**Key words:** liquid crystals, cutting fluid components, magnetic microcapsules, blade cutting, iodine-additive components, contact zone, juvenile surface.

Современные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) помимо высоких технологических характеристик должны обладать целым рядом других, не менее важных свойств, к которым можно отнести экологичность, стоимость, возможность и простота утилизации, экономичность и др. Одним из основных параметров СОТС, в большинстве случаев превосходящего по значимости технологические характеристики, является экологическая чистота и безопасность при использовании СОТС.

В этой связи применение таких хорошо зарекомендовавших себя в качестве компонентов СОТС элементов как сера, хлор, фосфор, минеральные масла и ряд других должно быть минимизировано или вообще исключено. Таким образом, необходима адекватная замена этих веществ другими веществами, отвечающими существующим требованиям. Такими альтернативными веществами могут выступать представители жидких кристаллов (ЖК), которые обладают хорошими трибологическими характери-

стиками [1, 2]. Однако, невысокие температуры их термодеструкции не позволяют в полной мере использовать эти соединения в качестве компонента СОТС на всех применяемых режимах обработки резанием [3].

Для решения задачи по расширению области возможного использования ЖК как компонентов СОТС прослеживаются два пути. С одной стороны, это возможно при увеличении температуры их термодеструкции, а с другой – разработка новых методов их подачи в естественном состоянии непосредственно в зону контактных взаимодействий.

Одним из таких методов подачи СОТС в зону резания может являться технология подачи СОТС в виде магнитных микрокапсул (МК), результаты исследования которой представлены в данной работе на примере использования в качестве СОТС органических и неорганических соединений с трибоактивными присадками.

Как известно из литературных источников [4], для достижения смазочного эффекта достаточно 0,5 – 10 грамм в час распыленного масла и 50 – 70 грамм в час распыленной эмульсии для достижения охлаждающего эффекта, при этом стойкость инструмента возрастает в 2 – 6 раз при обработке по сравнению с резанием в сухую. При этом расход эмульсии сокращается в 10 – 20 раз, а масла в сотни раз. Недостатком этого метода является образование масляного тумана, который негативно влияет на здоровье обслуживающего персонала.

Метод подачи СОТС в виде микрокапсул (МК) заключается в формировании микрокапсул из существующего ассортимента масляных СОТС методом коацервации в растворе пленкообразующего материала, в качестве одного применяется желатин. Размеры МК варьировались от 10 до 80 мкм. Благодаря оригинальной технологии, разработанной в ИвГУ, оболочку, возможно, формировать с заданными свойствами (эластичность, прочность, термостойкость). Способность к направленному дрейфу задавалась с помощью электромагнитных полей в зоне резания путем введения в состав МК магнетита  $Fe_3O_4$ . При этом стойкость инструмента при применении магнитных МК в 1,5 раза выше, нежели при применении не магнитных. Таким образом, использование МК для подачи СОТС в зону резания при лезвийной обработке оказывает положительное влияние, как на стойкость инструмента, так и на шероховатость обрабатываемой поверхности. При этом количестве вредных компонентов в зоне резания уменьшается более чем в 1000 раз.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике при резании металлов находят широкое применение смазки с присадками йода и его соединений. Применение йодистых смазок особенно эффективно при резании труднообрабатываемых материалов: нержавеющей стали, молибденовых и никелевых сплавов (увеличение стойкости твердосплавных резцов до 10 раз). В соответствии с нашей теорией, в основе высокого смазочного действия йодистых смазок лежит механизм разрушения нейтральных молекул на радикалы (прочность связи между атомами йода составляет 3706 ккал/моль) и зарождение цепных реакций с образованием защитных пленок.

Особенно успешным применение йода оказалось при обработке лезвийным и абразивным инструментом титана и его сплавов. В это связи Ф. П. Боуден отмечает, что «...чистый титан имеет коэффициент трения, равный 1, 2 выдержка в парах йода при комнатной температуре приводит к немедленной реакции с образованием черной пленки. Это имеет большое практическое значение и представляет собой область, в которой необходима дальнейшая работа».

Химические пленки, образованные в результате реакции паров йода с титаном, имеет низкий коэффициент трения (0,3) и сохраняют свои фрикционные свойства до температуры 400 °С.

Ранее отмечалось, что повышенная активность йода проявляется с повышением температур. При этом, как установлено настоящими исследованиями, действие йода носит избирательный характер. На рис. 1 представлены результаты термографических исследований, проведенных с целью изучения взаимодействия йода с различными металлами в процессе их нагрева.

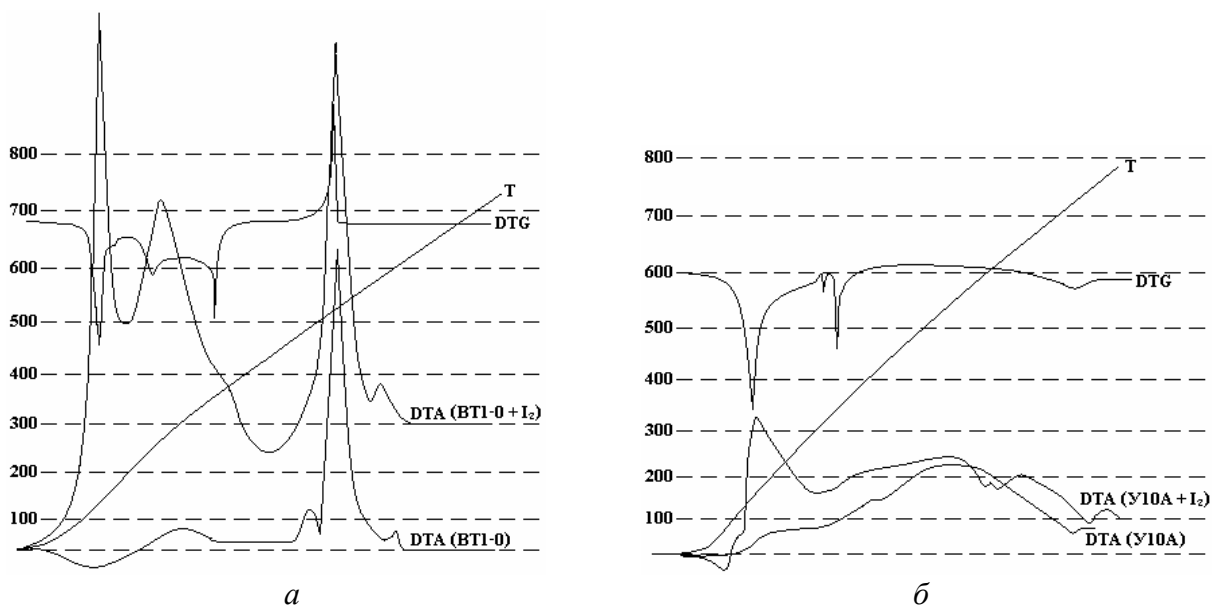


Рис. 1. Взаимодействие кристаллического йода с различными металлами при совместном нагреве:  
а – BT1-0, б – Y10A

Анализ термограмм, приведенных на рис. 1, показал, что интенсивность экзотермических превращений (величина пика) у всех исследованных материалов различна. Максимальная величина пиков наблюдалась у титанового и алюминиевого сплавов, минимальная – у нержавеющей стали.

Выше было показано, что применение паров йода или йодсодержащих СОТС обеспечивает химическую реакцию радикалов йода с металлами (никель, титан, железо) при температуре 260 – 420° с образованием неустойчивых соединений. Возгоняющиеся йодистые пленки создают благоприятную для трения газовую атмосферу, обеспечивающую минимальное трение. Пленки соединений йода имеют рыхлое строение и низкую температуру плавления, что подтверждается следующими данными (табл. 1).

Таблица 1

**Плотность и температура плавления соединений йода**

Тип пленки	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, °С
Cu J <sub>2</sub>	5,62	605
Cu J	5,6	600
Fe J <sub>2</sub>	5,31	592
Al J <sub>3</sub>	3,98	180

Электронно-микроскопическое исследование контактных поверхностей резцов стружек и свободных поверхностей показывает, что применение паров йода или йодсодержащих СОТС, действительно, способствует образованию рыхлых, тонких смазочных пленок толщиной 80 – 100 ангстрем.

В ряде случаев на контактных поверхностях, образуются соединения шаровидной формы, аналогичные сульфидным включениям в стали. Влияние йодсодержащих СОТС подтверждено экспериментальными данными при точении стали 1Х18Н10Т, сплава ВТ-5 и молибдена. Смазки йодистого класса оказались эффективными и при резании алюминия и его сплавов [5].

Применение присадок йодистого калия и ПАВ (сульфореницат Е, эмульсол Т) обеспечивает, например, уменьшение температуры резания в 2 раза по сравнению с атмосферой и 20 – 30 % по сравнению с такими эффективными СОТС, как водные растворы  $H_2O_2$ . Влияние присадки йода к маслу показано на рис. 2.

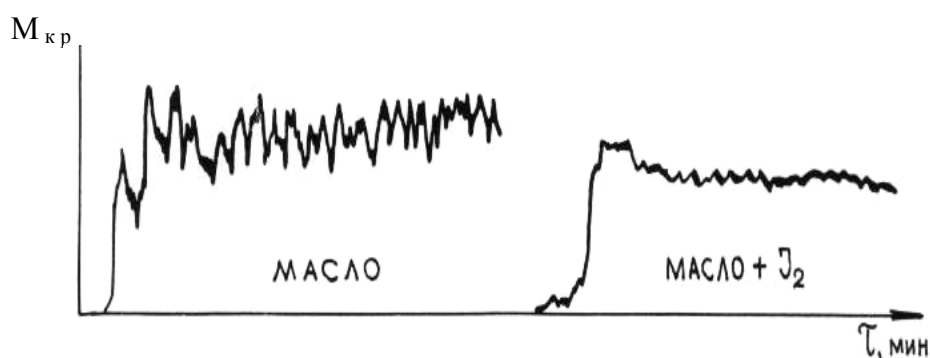


Рис. 2. Осциллограммы  $M_{кр}$  при нарезании резьбы из ст. X18H10T

Было произведено сопоставление энергии разрыва связей между атомами в различных галоидных соединениях, применяемых как компоненты СОТС, со стойкостью резцов Р18 при точении стали 45 и нержавеющей стали 1Х18Н10Т (табл. 2).

Таблица 2

#### Энергия разрыва связей галоидных соединений

№	Компонент СОТС	Тип связи	Прочность связи, ккал/моль	Стойкость резцов, мин.		Примечание
				сталь 45	сталь 1Х18Н10Т	
1.	$Cl_2$	Cl – Cl	57,2	43	18	$V = 50$ м/мин
2.	$Br_2$	Br – Br	45,4	54	25	$S = 0,2''$
3.	$I_2$	I – I	35,5	65	25	$t = 1,5''$

Аналогичное влияние на процесс резания оказывают натриевые и калиевые смазки, т.к. процесс разрушения их молекул на радикалы требует еще меньшей затраты энергии (11,8 – 17,5 ккал/моль).

Применение йодсодержащих компонентов в СОТС хорошо зарекомендовало себя при резании и трении труднообрабатываемых и химически инертных материалов. Еще в 50-х годах французские инженеры Робертс и Фьюри [6] обнаружили аномальное

повышение стойкости резцов при обработке титановых сплавов и нержавеющей стали, а также было зафиксировано, что введение микродоз присадок йода (0,01 – 0,001 %) в состав смазки в несколько раз уменьшает коэффициент трения (табл. 3).

Таблица 3

**Значения коэффициента трения и износа образцов при введении в состав смазки микродоз йода**

Материал пары трения	Коэффициент трения		Износ, мм	
	Нефтяное масло	Нефтяное масло + 0,075 % I <sub>2</sub>	Нефтяное масло	Нефтяное масло + 0,075 % I <sub>2</sub>
Сталь – сталь	0,088	0,088	-	-
Алюминий – алюминий	0,094	0,041	0,36	0,48
Золото – золото	0,070	0,010	0,60	0,60
Стекло – стекло	0,125	0,046	2,05	0,0

Дальнейшие работы [4, 5] подтвердили, что наибольшая эффективность от использования йода зафиксирована при обработке лезвийным и абразивным инструментом титана и его сплавов. Небольшие присадки йода к СОТС, в количестве 0,01 – 0,0075 %, уменьшают интерметаллический контакт и снижают трение между трибосопряженными рабочими поверхностями инструмента и обрабатываемым материалом. При этом стойкость инструментов может быть значительно увеличена.

Причины высокой эффективности йодсодержащих технологических средств точно не установлены. Предполагается, что в этом случае имеют место адсорбционная и химическая активность йода по отношению к металлам, его способность образовывать комплексные соединения, также не исключается возможность особой роли электрических и магнитных явлений [7].

Так, Робертс и Оуэнс, предположили, что при взаимодействии йода с компонентами смазки в контактной зоне образуются новые соединения, оказывающие влияние на электрические явления при трибосопряжениях металлических поверхностей – комплексы с переносом заряда (КПЗ) (рис. 3).

По нашему мнению в основе высокого смазочного действия йодсодержащих СОТС лежит механизм разрушения нейтральных молекул йода на радикалы в результате различного вида энергетических воздействий на последние. При этом, образование радикалов может проходить по схемам:



где  $e$  – электрон, эмитируемый свежевскрытой металлической поверхностью;  $I_2^*$  – возбужденная молекула йода;  $I$  – радикал йода;  $V$  – свободная валентность на ювенильной поверхности;  $VII$  – химический радикал.

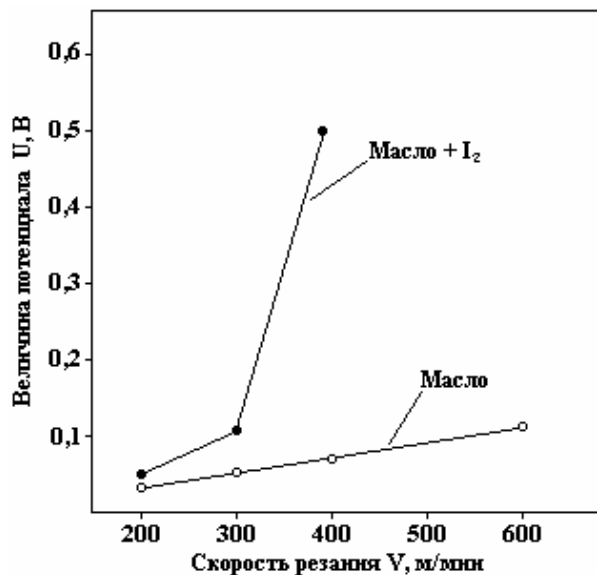


Рис. 3. Величина ЭДС при трении стали 45 с использованием в качестве смазочной среды масла

Образованные радикалы йода участвуют в поверхностных химических реакциях, а также могут выступать в роли инициаторов зарождения цепных реакций, в результате чего в контактной зоне происходит образование вторичных структур – различных соединений йода с металлами контактирующих поверхностей.

Температура резания, так же как и силы, является важным показателем эффективности применяемой СОТС. Тепло, выделяющееся в контактной зоне, напрямую связано с работой резания. Чем интенсивнее идет образование разделительных смазочных слоев между трибосопряженными поверхностями инструментального и обрабатываемого материалов, тем в меньшей степени активизируются адгезионные взаимодействия между ними, т. е. уменьшается трение, а, следовательно, снижается выделяемое количество теплоты [8].

Изучение теплового состояния контактной зоны проводилось с использованием метода полуискусственной термопары при точении титанового сплава ВТ-5. В ходе исследований было установлено, что наличие в составе используемой СОТС йода приводит к значительному снижению температур резания по сравнению с такими эффективными технологическими средами как нитрит натрия, четыреххлористый углерод и др. (рис. 4). Изучение эффективности действия паров йода на температуру резания в сравнении с широко используемыми в качестве компонентов СОТС парами хлора и фосфора, проведенное при строгании стали 45 и алюминия в вакуумной камере, так же показало превосходство йода (рис. 5).

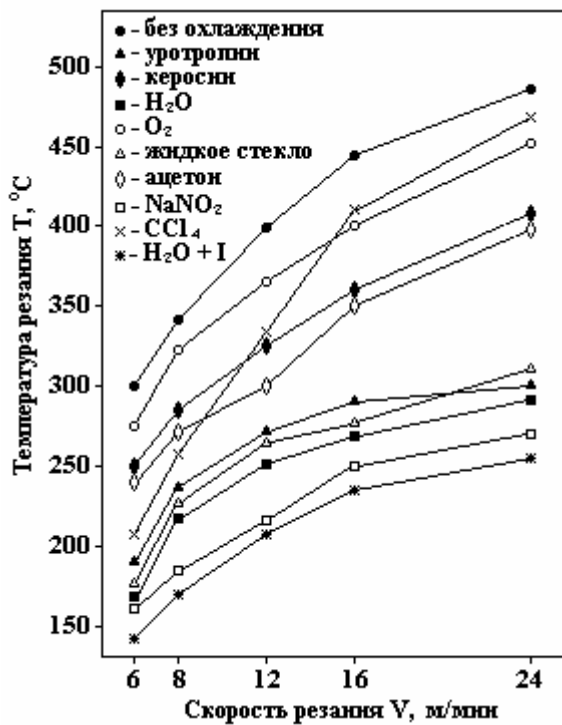


Рис. 4. Зависимость температуры от скорости резания при точении сплава ВТ-5 резцами из стали Р18

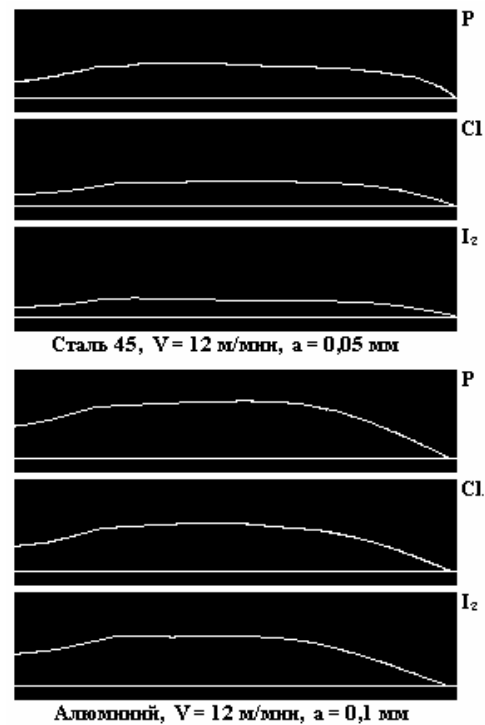


Рис. 5. Термограммы температур зафиксированные при строгании металлов в контролируемой атмосфере

Мельчайшие частицы йодсодержащей СОТС, размерами от десятых долей микрометра до десятков микрометров, что соизмеримо с распыленной жидкостью, покрываются оболочкой из непроницаемого для него материала, в состав которого вводится ферромагнитный компонент. Такая композиция получила название магнитной микрокапсулы.

Хотя механизм проникновения технологических сред в зону резания до настоящего времени остаётся предметом обсуждения, установленным является тот факт, что технологические жидкости и другие среды, несмотря на высокие давления, проникают на поверхности контакта и существенно влияют на процесс резания и изнашивание режущего инструмента. Поскольку температура в зоне резания почти всегда выше 100 °С, жидкость попадает на поверхности контакта не в обычном своём агрегатном состоянии, а в виде паров и отдельных частиц – молекул, их радикалов или ионов.

Проникающее действие смазочного материала зависит как от физических свойств СОТС (размеры молекул, ионов, агрегатное состояние), так и от способа подвода ее в зону резания.

Физические явления, сопровождающие процессы резания металлов, в частности, электромагнитные поля, которые неизбежно возникают при трении и резании металлов, так же могут быть использованы для усиления проникающей способности СОТС [9].

Наличие магниточувствительного вещества в составе микрокапсулы приводит к тому, что под действием магнитной составляющей электромагнитного поля, имеющего свое максимальное значение в области вершины режущего инструмента, микрокапсула

с заключенной в ней йодсодержащей СОТС приобретает движение к зоне контактирования инструментального и обрабатываемого материалов. При этом кинетическая энергия микрокапсулы постоянно возрастает с уменьшением расстояния до зоны контакта.

Совокупность физико-механических характеристик микрокапсул (размеры, температура 200 – 215 °С, возможность без разрушения выдерживать давления 1,7 – 2,0 МПа, скорость движения к контактной зоне до 32 мм/с) определила высокую проникающую способность магнитных микрокапсул. Экспериментальные данные, полученные при изучении передней поверхности резцов с помощью электронной микроскопии после проведения резания с использованием магнитных микрокапсул, показали наличие постороннего вещества вплоть до вершины резцов.

Следствием высокой проникающей способности магнитных микрокапсул явилось как улучшение характеристик процесса резания и обработанных поверхностей, так и повышение износостойкости инструментов (рис. 6).

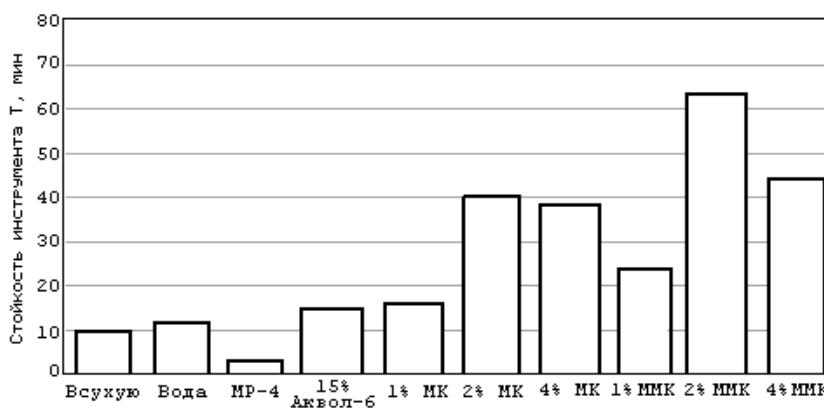


Рис. 6. Гистограмма стойкости резцов из стали Р6М5 при использовании различной концентрации микрокапсул в носителе при точении сплава ВТ6:  $V = 0,48$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,5$  мм

На примере использования магнитных микрокапсул, имеющих в качестве ядра минеральные масла с присадками йода, в качестве СОТС мы рассмотрели возможность использовать МК для подачи ЖК непосредственно в зону контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала.

Это может позволить значительно расширить спектр операций, на которых возможно применение ЖК в качестве СОТС и значительно увеличить скорость обработки. Поэтому, необходимо проводить дальнейшие более «тонкие» научные исследования с привлечением современных положений смежных научных направлений и, в первую очередь, физики и химии.

### Список использованной литературы

1. А.с. СССР №10860009. Антифрикционная присадка для минеральных масел / В. Н. Латышев, Н. В. Усольцева и др.
2. А.с. СССР № 1692814. Смазочно-охлаждающее технологическое средство / В. Н. Латышев, Н. В. Усольцева и др.



- 
3. Новиков В. В., Латышев В. Н., Маршалов М. С., Нуждина Е. Е., Колбашов М. А. // Трение и износ. 2011. Вып. 32. № 6. С. 596 – 601.
  4. Латышев В. Н. Повышение эффективности СОЖ. М. : Машиностроение, 1985. 64 с.
  5. Наумов А. Г. Повышение эффективности лезвийной обработки быстрорежущим инструментом при использовании экологически чистых СОТС : дис. ... д-ра техн. наук. М. : МГТУ «Станкин», 1999. 378 с.
  6. Furey M. J. The action of iodine in producing extremely low friction // Wear. 1966. Vol. 9. № 5. P. 369 – 387.
  7. Latyshev V. N., Naumov A. G., Radnyuk V. S. et al. Experimental studies of tribological phenomena during material cutting // Journal of Friction and Wear. 2010. Vol. 31. № 5. P. 378 – 386.
  8. Латышев В. Н. Исследование механохимических процессов и эффективности применения смазочных сред при трении и обработке металлов : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1973. 412 с.
  9. Латышев В. Н., Наумов А. Г., Подгорков В. В., Раднюк В. С. // Вестник машиностроения. 2007. № 9. С. 53 – 54.

Поступила в редакцию 30.03.2012 г.