

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Авторы:** Богуславский В.А., Ивченко Т.Г., Польченко В.В., Зайцева И.Ю.

**Источник:** Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2012. Вып. 43 . – С.59-65.

## Аннотация

*Установлено влияние смазочно-охлаждающих технологических сред на тепловые потоки и температуру резания при точении труднообрабатываемых материалов. На основании определенных аналитических зависимостей оптимальных значений подачи и скорости резания от параметров процесса точения разработаны рекомендации по выбору оптимальных режимов резания для любых условий обработки. Дана количественная оценка возможностей повышения производительности обработки за счет применения смазочно-охлаждающих технологических сред.*

**Ключевые слова:** *точение, смазочно-охлаждающая среда, температура, оптимизация, производительность.*

## 1. Введение

Одним из методов повышения эффективности механообработки является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС), что особенно актуально для нержавеющей, жаропрочных и высокопрочных сталей и сплавов, обладающих весьма низкой обрабатываемостью.

Высокие температуры в зоне обработки, возникающие из-за низкой теплопроводности труднообрабатываемых материалов, определяют необходимость исследования тепловых явлений в зоне резания и исследование эффективности применения СОТС для снижения температур и повышения производительности.

Существующая методика расчета тепловых потоков и температур в зоне резания с учетом действия СОТС [1, 2] не учитывает особенностей труднообрабатываемых материалов. Для этих видов материалов представляет интерес дальнейшее развитие методики определения температур в зоне резания при использовании различных СОТС.

В работе [3] предложена методика оценки повышения производительности обработки с применением различных СОТС, однако анализ выполнен только для одного обрабатываемого материала. Целесообразно расширение возможностей предложенной методики для оценки эффективности использования СОТС при точении различных труднообрабатываемых материалов.

При анализе возможностей повышения производительности обработки, в том числе за счет применения СОТС, весьма важен правильный выбор режимов резания. Методика оптимизации режимов резания при точении с учетом температурных ограничений, предложенная в работах [4, 5], может быть использована для различных труднообрабатываемых материалов. Представляет интерес дальнейшее развитие методики определения тепловых потоков, температур и режимов резания в широком диапазоне изменения условий обработки различных материалов.

Цель работы – исследовать влияние СОТС на тепловые потоки, температуру резания и оптимальные режимы резания при точении различных труднообрабатываемых материалов и оценить возможности повышения производительности обработки за счет

применения СОТС.

## 2. Основное содержание и результаты работы

Необходимым условием для расчета температуры резания является определение плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия инструмента. Плотности равномерно распределенных тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях при обработке без СОТС, а также соответствующие плотности тепловых потоков  $q_{1СОТС}$  и  $q_{2СОТС}$  при обработке с использованием СОТС в зависимости от основных параметров процесса резания могут быть рассчитаны следующим образом [2]:

$$q_1 = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 N_2 h + K_1 M_2 h}{K_3 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 l h / \lambda_u}; \quad q_2 = \frac{(K_1 - K_4 q_1) \lambda_u}{N_2 h}; \quad (1)$$

$$q_{1\hat{N}\hat{A}} = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 N_2 h p_1 + K_1 (M_2 - p_2 N_2) h}{K_3 K_5 \lambda_u + (M_2 - p_2 N_2) K_5 h - N_1 N_2 l h / \lambda_u}; \quad q_{2\hat{N}\hat{A}} = \frac{(K_1 - K_5 q_{1\hat{N}\hat{A}}) \lambda_u}{N_2 h p_1}, \quad (2)$$

где  $K_1, K_2, K_3, K_4, p_1$  и  $p_2$  – коэффициенты, зависящие от условий обработки:

$$K_1 = \frac{(1+c)\omega_{\dot{a}} k b' q_{\dot{a}}}{\lambda_{\dot{a}} V} + \frac{K_{c1} q_{1T}}{\lambda_{\dot{a}}} \sqrt{\frac{\omega_{\dot{a}} k l}{V}}; \quad K_2 = \frac{(1+c)\omega_{\dot{a}} k b' q_{\dot{a}} T_u}{\lambda_{\dot{a}} V} + \frac{K_{c2} q_{2T}}{\lambda_{\dot{a}}} \sqrt{\frac{\omega_{\dot{a}} h}{V}};$$

$$K_3 = \frac{1,82 K_{c2}}{\lambda_{\dot{a}}} \sqrt{\frac{\omega_{\dot{a}} h}{V}}; \quad K_4 = \frac{1,3 K_{c1}}{\lambda_{\dot{a}}} \sqrt{\frac{\omega_{\dot{a}} k l}{V}} + \frac{M_1 l}{\lambda_u}; \quad K_5 = \frac{1,3 K_{c1}}{\lambda_{\dot{a}}} \sqrt{\frac{\omega_{\dot{a}} k l}{V}} + \frac{M_1 l p_1}{\lambda_u};$$

$$p_1 = \frac{\lambda_u}{\lambda_u + \alpha_o m_o (l_o M_o - l_1 M_1)}; \quad p_2 = \frac{\alpha_o m_o (l_o N_o - l_1 N_1)}{\lambda_u + \alpha_o m_o (l_o M_o - l_1 M_1)};$$

$\lambda_o, \lambda_u, \omega_o, \omega_u$  – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материалов детали и инструмента;  $l$  – длина контактной площадки в направлении схода стружки;  $h$  – износ по задней поверхности;  $k$  – коэффициент усадки стружки;  $V$  – скорость резания;  $c$  – коэффициент, учитывающий подогрев слоев металла стружки за один оборот детали;  $b'$  – коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку;  $K_{c1}$  – коэффициент, учитывающий закон распределения плотности теплового потока на передней поверхности  $K_{c2}$  – коэффициент, учитывающий закон распределения плотности теплового потока на задней поверхности;  $M_1, M_2, N_1, N_2$  – безразмерные функции, определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях лезвия инструмента [1];  $M_o = 4,88\beta^{0,85}$ ,  $N_o = 0,04B$  – безразмерные функции, определяющие охлаждение площадки на передней поверхности под действием СОТС;  $m_o = \rho^{-0,86}$ ,  $\rho = 2l_o/(b+l)$  – безразмерный параметр, сопоставляющий размеры зоны охлаждения с размерами контактной площадки стружки с лезвием инструмента;  $b$  – ширина среза;  $l_o \times l_o$  – площадка омывания СОТС, подаваемой свободным поливом со стороны передней поверхности;  $\alpha_o$  – коэффициент теплоотдачи на этой поверхности [4].

Полученные аналитические зависимости для расчета плотностей тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента позволяют устанавливать их взаимосвязи с различными параметрами обработки. На их основании выполнены расчеты плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия в зависимости от скорости резания  $V$  при обработке без СОТС и с применением различных СОТС, графики которых представлены на рис. 1.

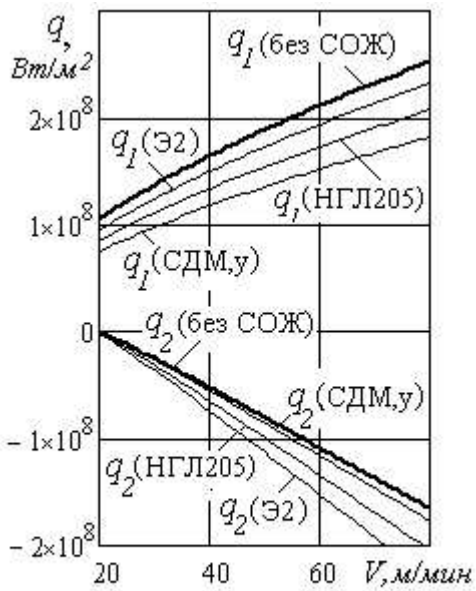


Рис. 1. Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия от скорости резания  $V$  при обработке без СОТС и с применением различных СОТС

зованием в качестве СОТС эмульсола Э-2 достигается преимущественно за счет охлаждающего эффекта СОТС. При использовании эмульсола НГЛ-205, состоящего из масляного раствора сульфата натрия и пассивирующих добавок водорастворимых ингибиторов коррозии - нитрита натрия и тринатрийфосфата, к охлаждающему эффекту добавляется эффект смазывающий, что усиливает снижение плотности теплового потока на передней поверхности  $q_{1\text{НГЛ}205}$ . Наибольший эффект снижения плотности теплового потока  $q_{1\text{СДМ,у}}$  наблюдается при использовании эмульсола СДМ,у, представляющего собой безводную систему содержащую масло, сульфат натрия, растворимые ингибиторы коррозии и небольшое количество (до 3 %) дисульфида молибдена, прошедшего ультразвуковую обработку. Наличие дисульфида молибдена существенно повышает смазывающее действие СОТС, что и обеспечивает максимальное снижение плотности теплового потока на передней поверхности.

С учетом действия стока теплоты при свободном поливе СОТС средние температуры на передней  $\Theta_1$  и задней  $\Theta_2$  поверхностях лезвия, а также температура резания  $\Theta$  могут быть определены:

$$\Theta_1 = \frac{M_1 l}{\lambda_{\text{д}}} (q_1 + q_1 \tilde{N} \hat{A} E) + \frac{N_2 h}{\lambda_{\text{д}}} q_2 - \frac{M_o l_o}{\lambda_{\text{д}}} q_1 \tilde{N} \hat{A} E ; \quad (3)$$

$$\Theta_2 = \frac{M_2 h}{\lambda_{\text{д}}} q_2 + \frac{N_1 l}{\lambda_{\text{д}}} (q_1 + q_1 \tilde{N} \hat{A} E) - \frac{N_o l_o}{\lambda_{\text{д}}} q_1 \tilde{N} \hat{A} E$$

$$\Theta = (\Theta_1 l + \Theta_2 h) / (l + h). \quad (4)$$

Расчеты выполнялись для следующих условий: обрабатываемый материал - нержавеющая сталь X18H9T; инструментальный материал - твердый сплав ВК8 (геометрические параметры: главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ , передний угол  $\gamma = 12^\circ$ ); ширина и высота державки резца  $B = 20\text{мм}$ ,  $H = 25\text{мм}$ ; глубина резания  $t = 1\text{мм}$ ; подача  $S = 0,3\text{ мм/об}$ ; износ по задней поверхности  $h = 0,2\text{мм}$ . Рассчитанное для этих условий значение приведенного коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{\text{пр}} = 4,6 \cdot 10^4\text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

С применением различных СОТС тепловые потоки на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия уменьшаются, причем тепловые потоки на задней  $q_2$  поверхности находятся в области отрицательных значений, что свидетельствует о направлении теплового потока из инструмента в деталь.

Снижение плотностей тепловых потоков на передней  $q_1$  поверхности лезвия инструмента при обработке с исполь-

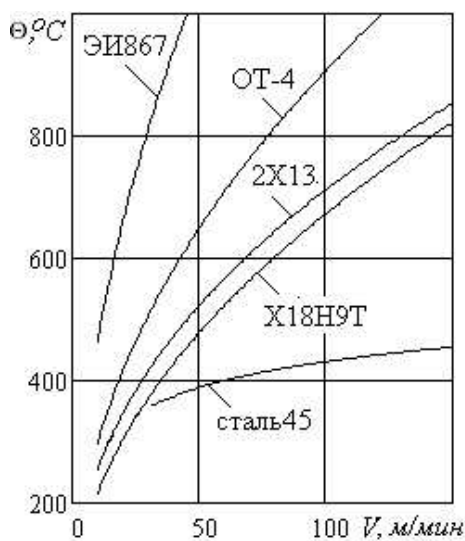


Рис. 2. Графики зависимости температуры резания  $\Theta$  от скорости  $V$  при обработке различных материалов без СОТС

ли Х18Н9Т с использованием различных СОТС представлены на рис. 3. Наибольший эффект снижения температуры резания, также как и для плотности теплового потока наблюдается при использовании эмульсола СДМ,у.

Установлена зависимость температуры резания  $\Theta$  от режимов резания – скорости  $V$ , подачи  $S$  и глубины  $t$ :

$$\Theta_{\text{с СОТС}} = 76,5 K_{\Theta} V^{0,53} S^{0,35} t^{0,24}, \quad (5)$$

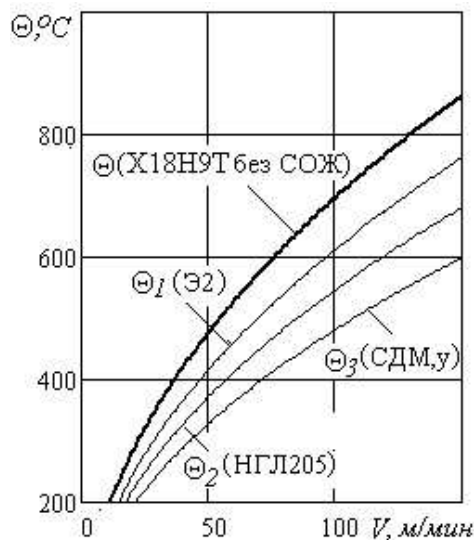


Рис. 3. Графики зависимости температуры резания  $\Theta$  от скорости  $V$  при обработке стали Х18Н9Т с использованием СОТС

Графики зависимости температуры резания от скорости резания при обработке различных обрабатываемых материалов без применения СОТС ( $q_{\text{СОТС}} = 0$ ) представлены на рис. 2. Для указанных ранее условий при работе без СОТС температура резания имеет максимальное значение при обработке жаропрочного сплава ЭИ867 и наименьшее из труднообрабатываемых материалов – при обработке нержавеющей стали Х18Н9Т. Для сравнения на графике представлена зависимость температуры резания от скорости резания при обработке стали 45, которая показывает, что температура во всем диапазоне изменения скоростей резания значительно ниже, чем для труднообрабатываемых материалов.

Представленные результаты расчетов температур резания при обработке труднообрабатываемых материалов свидетельствуют о необходимости их снижения за счет применения СОТС.

Графики зависимости температуры резания  $\Theta$  от скорости резания  $V$  при обработке стали

Х18Н9Т с использованием различных СОТС представлены на рис. 3. Наибольший эффект снижения температуры резания, также как и для плотности теплового потока наблюдается при использовании эмульсола СДМ,у.

где  $K_{\Theta} = \Theta_{\text{СОТС}} / \Theta_{\text{без СОТС}}$  – коэффициент снижения температуры резания при использовании СОТС.

Рассчитаны значения коэффициента снижения температуры резания  $K_{\Theta}$  при использовании различных СОТС:

для эмульсола Э2 -  $K_{\Theta \text{Э2}} = 0,9$ ;

для эмульсола НГЛ205 -  $K_{\Theta \text{НГЛ205}} = 0,8$ ;

для эмульсола СДМ,у -  $K_{\Theta \text{СДМ,у}} = 0,7$ .

Представленные результаты расчетов температур резания свидетельствуют о необходимости учета температурных ограничений при оптимизации режимов резания по критерию максимальной производительности для труднообрабатываемых материалов.

В качестве ограничений по температуре используются установленные для различных труднообрабатываемых материалов зависимости температуры резания  $\Theta$  от режимов резания – скорости  $V$ , подачи  $S$  и глубины  $t$ .

При использовании СОТС температурные ограничения отсутствуют, и оптимальные значения подачи и скорости резания, обеспечивающие максимальную производительность, могут быть рассчитаны следующим образом [4]:

$$S_i = \left( 34c^{1,35} t^{(0,77-x_p)} K_\varphi / C_P K_P K_o \right)^{\frac{1}{y_p}}, \quad (6)$$

$$V_o = \left( \frac{C_V K_V K_T}{T^{m_t} X_V} \right) \cdot \left( \frac{C_P K_P K_o}{34c^{1,25} t^{(0,77-x_p)} K_\varphi} \right)^{\frac{y_v}{y_p}}. \quad (7)$$

где  $C_V, K_V$  – коэффициенты и  $x_v, y_v, m_v$  – показатели, характеризующие степень влияния глубины  $t$ , подачи  $S$  и стойкости  $T$  на скорость резания  $V$ ;  $K_T$  – коэффициент, учитывающий повышение стойкости режущего инструмента при использовании СОТС;  $c$  – толщина пластины;  $\varphi$  – главный угол резца в плане;  $C_P, K_P$  – коэффициенты и  $x_p, y_p$  – показатели, характеризующие степень влияния глубины  $t$  и подачи  $S$  на силу резания  $P_z$ ;  $K_o$  – коэффициент, учитывающий снижение силы резания при использовании СОТС;  $K_\varphi$  – коэффициент, учитывающий действие на силу резания  $P_z$  главного угла в плане  $\varphi$ .

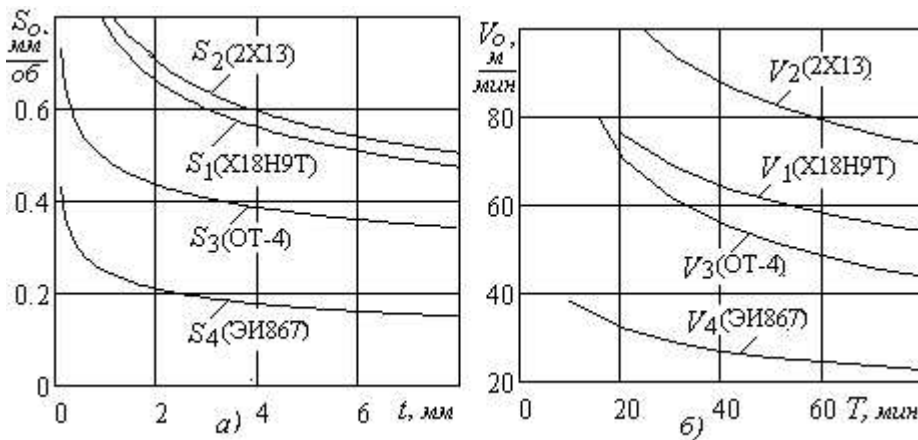


Рис. 4. Графики зависимости оптимальных значений подачи  $S_o$  от глубины резания  $t$  и скорости резания  $V_o$  от стойкости  $T$  для различных обрабатываемых материалов

Графики зависимости оптимальных значений подачи  $S_o$  от глубины резания  $t$  и скорости резания  $V_o$  от стойкости инструмента  $T$  для различных обрабатываемых материалов представлены на рис. 4. Полученные аналитические выражения позволя-

ют рассчитывать оптимальные режимы резания для любых условий токарной обработки.

При обработке без СОТС оптимальная скорость резания определяется с учетом температурного ограничения:

$$V_i = \left( \frac{\Theta}{C_t t^{x_t}} \right)^{\frac{1}{z_t}} \left[ \frac{C_P K_P}{34c^{1,35} t^{(0,77-x_p)} K_\varphi} \right]^{\frac{y_t}{y_P z_t}}, \quad (8)$$

где  $C_t$  – коэффициент и  $z_t, y_t, x_t$  – показатели степени, характеризующие влияние на температуру резания  $\Theta$  скорости резания  $V$ , подачи  $S$  и глубины резания  $t$ .

На основании представленных зависимостей для расчета оптимальных режимов ре-

зания может быть определен коэффициент роста производительности обработки труднообрабатываемых материалов при использовании СОТС:

$$K_j = \left( \frac{C_V K_V K_T}{T^{m_t} X_V} \right) \left( \frac{C_t t^{x_t}}{\Theta} \right)^{\frac{1}{z_t}} \left( \frac{1}{K_o} \right)^{\frac{1}{y_p}} \left( \frac{C_P K_{Pt}^{(xp-0,77)}}{34c^{1,35} K_\phi} \right)^{\frac{y_v z_t - y_t}{y_p z_t}} \quad (8)$$

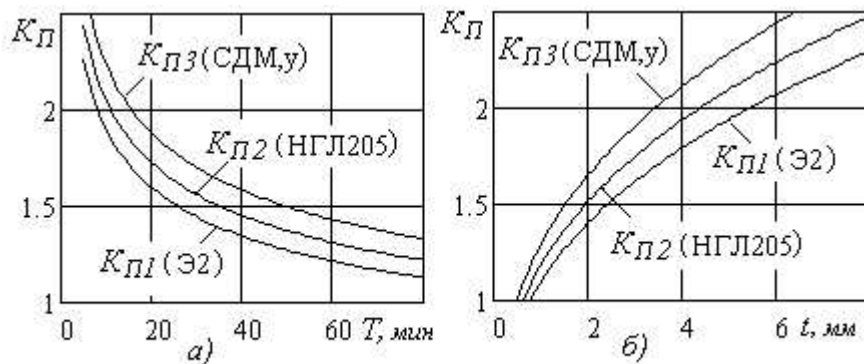


Рис. 4. Графики изменения коэффициента роста производительности  $K_{п}$  при обработке стали X18H9T с применением различных СОТС в зависимости от стойкости – а) и глубины резания – б)

Графики свидетельствуют о возможности существенного (до 2 – 3 раз) повышения производительности обработки при использовании СОТС. Графики, представленные на рис. 4 также свидетельствуют о том, что наибольший эффект по повышению производительности обработки при применении различных СОТС достигается при уменьшении стойкости режущего инструмента и увеличении глубин резания.

Таким образом, установленный коэффициент (8) позволяет количественно оценить возможное повышение производительности обработки труднообрабатываемых материалов при использовании различных СОТС.

На основании представленного коэффициента роста производительности обработки может быть выполнена оценка эффективности применения различных СОТС. Наилучшими возможностями по повышению производительности обработки из рассмотренных СОТС за счет максимального снижения плотности теплового потока и температуры резания обладает эмульсол СДМ,у.

### Заключение

С использованием разработанной методики расчета тепловых потоков и температур резания при точении выполнена оценка возможностей снижения температур при обработке труднообрабатываемых материалов с применением различных СОТС.

Установлены зависимости температуры резания от скорости резания, подачи и глубины для различных труднообрабатываемых материалов, используемые в качестве температурных ограничений при оптимизации режимов резания.

На основании определенных аналитических зависимостей оптимальных значений подачи и скорости резания от параметров процесса точения разработаны рекомендации по выбору оптимальных режимов резания для любых условий токарной обработки. Обосновано влияние на оптимальные по производительности режимы резания температурных ограничений, которые существенно снижают скорость резания.

Графики изменения коэффициента роста производительности  $K_{п}$  при обработке стали X18H9T с применением различных СОТС в зависимости от глубины резания  $t$  и стойкости режущего инструмента  $T$  представлены на рис.5.

На основании полученных аналитических выражений для расчета оптимальных режимов резания определен коэффициент повышения производительности обработки при использовании СОТС, который позволяет оценить эффективность применения различных СОЖ при точении труднообрабатываемых материалов.

Разработанная методика быть использована для оптимизации режимов резания и оценки эффективности использования СОТС при различных видах обработки.

#### **Список литературы:**

1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. –288с.

2. Ивченко Т.Г. Расчет тепловых потоков и температур резания при точении с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць.. – Краматорськ, ДДМА. вип.26, 2010.- С.90 -96.

3. Богуславский В.А., Ивченко Т.Г., Зантур Сахби. Повышение производительности обработки труднообрабатываемых материалов с применением смазочно-охлаждающих жидкостей // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 7(166). - Донецьк, ДонНТУ, 2010.- С.9-16.

4. Зантур Сахби, Богуславский В.А., Ивченко Т.Г. Оптимизация режимов резания при точении труднообрабатываемых материалов с учетом температурных ограничений // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2010. Вып. 39. – С.77-84.

5. Vadim Bogouslavskiy, Tatiana Ivchenko. Optimisation of cutting regimes at application of technological cutting fluid // ModTech International Conference 25-27th May 2011, Vadul lui Voda: Chisinau, 2011. P. 669-672. (Index to Scientific & Technical Proceedings of Thomson Scientific - Institute for Scientific Information (ISI).