

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ**

**Ивченко Т.Г.**

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

### **Введение**

В повышении эффективности функционирования системы резания весьма важную роль играют тепловые явления, оказывающие влияние на работоспособность режущего инструмента, качество поверхностного слоя деталей и производительность обработки.

Современные методы исследования теплового состояния режущего инструмента достаточно хорошо разработаны. Большое внимание в них уделено начальному этапу теплофизического анализа – изучению источников теплоты и основных закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания. Существующая методика анализа тепловых потоков [1, 2] обосновывает общий подход к их определению и не содержит информации об особенностях определения тепловых потоков в разнообразных условиях эксплуатации режущего инструмента, а также весьма затруднительна для практических расчетов.

Применение указанной методики существенно упрощается с использованием разработанного автором программного обеспечения задач определения тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента [3, 4], а также температур резания [5]. Основное внимание в работах [3, 4] уделено исследованию закономерностей изменения тепловых потоков в зоне резания в связи с изнашиванием режущего инструмента. Установленные в этих работах предельно допустимые значения износа по задней поверхности лезвия позволяют уточнить существующие температурные критерии затупления инструмента для различных условий обработки.

Однако, как показано в работе [5], для аналитического расчета температур резания необходимо знать закономерности изменения тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента в зависимости от условий обработки. Представляет интерес дальнейшее развитие методики определения тепловых потоков в зоне резания в широком диапазоне изменения условий механообработки.

Целью представленной работы является установление закономерностей формирования тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента в зависимости от условий механообработки.

### **Основное содержание работы**

Источниками теплоты в зоне резания [1], представленными на рис.1, являются:

- теплота деформации в зоне стружкообразования на плоскости сдвига – источник  $J_d$  с равномерным распределением плотности тепловыделения  $q_d$  и равномерным распределением плотности тепловых потоков в стружку  $q_{dc}$  и деталь  $q_{dd}$ :  $q_d = q_{dd} + q_{dc}$ ;
- теплота трения на площадке контакта между стружкой и передней поверхностью лезвия инструмента – источник  $J_1$  с комбинированным распределением плотности тепловыделения  $q_{T1}$ ;
- теплота трения между задней поверхностью лезвия инструмента и деталью – источник  $J_2$  с нормальным несимметричным распределением плотности тепловыделе-

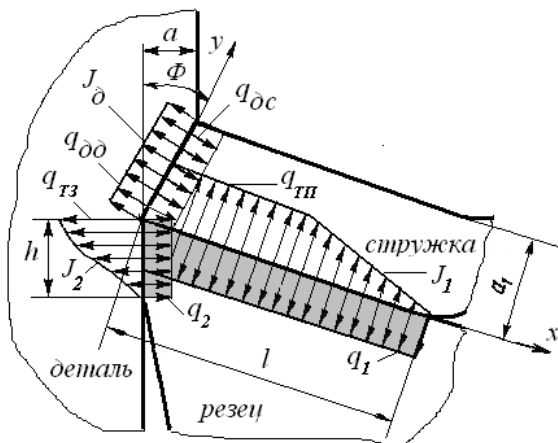


Рис. 1. Схема расположения источников теплоты и распределения тепловых потоков в зоне резания при точении

ния  $q_{T3}$ .

Ось  $X$  в рассматриваемой системе координат ориентируется в направлении передней поверхности перпендикулярно главной режущей кромке;  $l$  - длина контактной площадки в направлении схода стружки;  $h$  - износ по задней поверхности;  $a$  - толщина среза;  $a_1$  - толщина стружки;  $\Phi$  - угол сдвига.

Температура в режущем лезвии инструмента формируется под воздействием источников  $q_1$  и  $q_2$ , плотность которых для практических расчетов принимается равномерно распределенной по площадкам  $b \times l$  и  $b \times h$  ( $b$  - ширина среза). Плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента, определяются из системы уравнений [3, 4]:

$$\begin{cases} \frac{q_1 l}{\lambda_u} M_1 + \frac{q_2 h}{\lambda_u} N_2 = K_1 q_\delta + 1,4 K_2 \sqrt{kl/h} (q_{TП} - 1,3 q_1) \\ \frac{q_2 h}{\lambda_u} M_2 + \frac{q_1 l}{\lambda_u} N_1 = K_1 q_\delta T_\delta + K_2 (q_{T3} - 1,82 q_2) \end{cases}; \quad (1)$$

$$K_1 = (1+c) \omega_\delta k b' / \lambda_\delta V; \quad K_2 = 0,1 \sqrt{\omega_\delta h} / \lambda_\delta \sqrt{V},$$

где  $\lambda_\delta$ ,  $\lambda_u$ ,  $\omega_\delta$ ,  $\omega_u$  - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материалов детали и инструмента соответственно;  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  - безразмерные функции, определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях лезвия инструмента;  $k$  - коэффициент усадки стружки;  $V$  - скорость резания;  $c$  - коэффициент, учитывающий подогрев слоев металла стружки за один оборот детали;  $T_\delta$  - безразмерная функция распределения температур в детали, вызванных теплотой деформации;  $b'$  - коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку.

В результате решения системы уравнений (1) установлены аналитические выражения плотностей тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента в зависимости от основных параметров процесса резания:

$$q_1 = - \frac{(K_1 T_u N_2 h + K_2 q_{T3} N_2 h - 1,82 K_1 K_3 \lambda_u - M_2 K_3 h)}{(1,82 K_2 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 l h / \lambda_u)}; \quad q_2 = \frac{(K_3 - K_4 q_1)}{N_2 h}; \quad (2)$$

$$K_3 = K_1 + 1,42 K_2 q_{TП} \sqrt{kl/h}; \quad K_4 = 1,85 K_2 \sqrt{kl/h} + N_1 l / \lambda_u.$$

На основании установленных плотностей тепловых потоков с учетом взаимосвязи всех параметров, входящих в формулу (2), с условиями обработки выполнен анализ влияния режимов резания - глубины  $t$ , подачи  $s$  и скорости  $V$  на закономерности формирования тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия.

Расчеты выполнялись для следующих условий: обрабатываемый материал - сталь 45;  $\sigma_s = 750$  МПа; коэффициент усадки  $k = 2,0$ ; инструментальный материал

T15K6; параметры резцов: углы в плане  $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ ; передний угол  $\gamma = -7^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 7^\circ$ ; угол заострения  $\beta = 90^\circ$ ; износ по задней поверхности  $h = 0,5$  мм.

Представленные на рис. 2 двумерные зависимости плотностей тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента свидетельствуют о достаточно сложном характере их взаимосвязи с режимами резания.

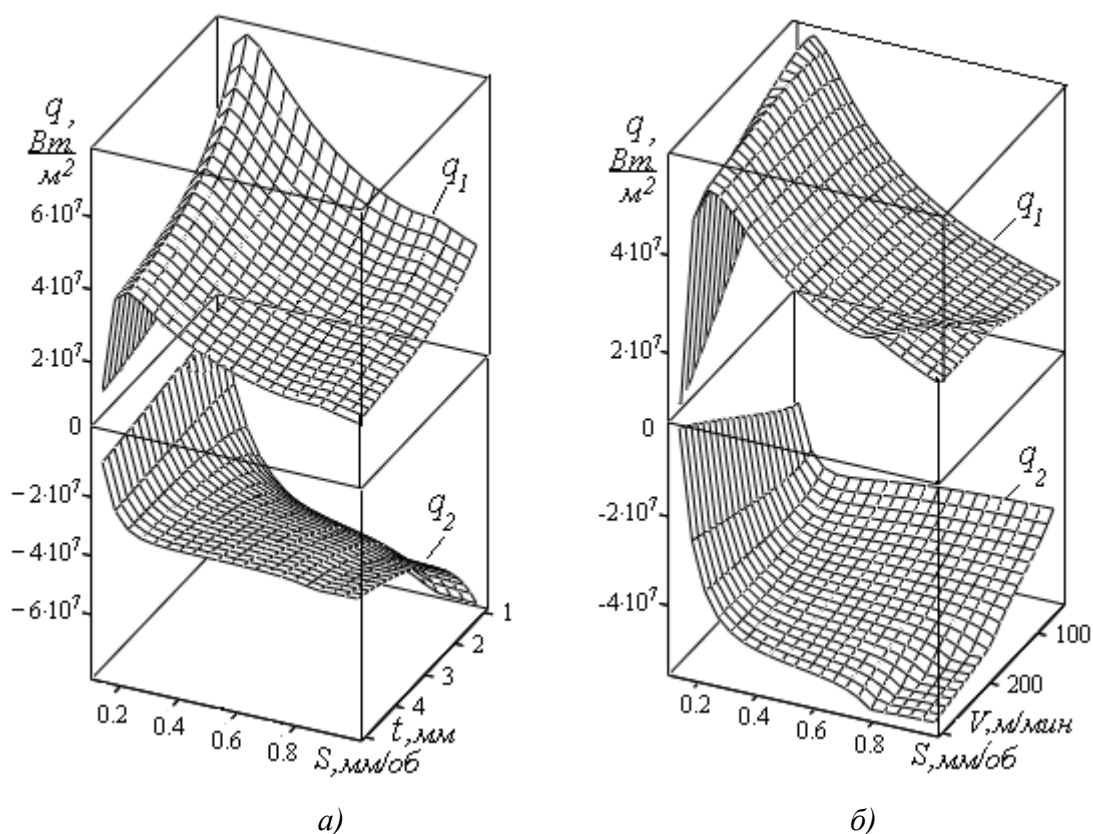


Рис.2. Двумерные зависимости плотностей тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента:

а) – от глубины резания  $t$  и подачи  $s$ ; б) – от скорости резания  $V$  и подачи  $s$

С увеличением глубины резания тепловой поток на передней поверхности убывает, а на задней поверхности – возрастает, находясь в области отрицательных значений. С увеличением подачи тепловой поток на задней поверхности убывает, а на передней – в области малых подач, характерных для чистовой обработки, возрастает, а затем убывает. С увеличением скорости резания тепловой поток на задней поверхности в области малых подач возрастает, в области больших – убывает; тепловой поток на передней поверхности убывает при малых подачах и возрастает при больших. Такой сложный характер изменения тепловых потоков обусловлен неоднозначным влиянием режимов резания на все параметры, входящие в формулу (2) и определяющие значения тепловых потоков.

С изменением условий обработки, использованных для расчетов, как значения тепловых потоков, так и характер их взаимосвязи с режимами резания также существенно меняется. Наибольшее влияние на значения и характер изменения тепловых по-

токов имеет износ по задней поверхности лезвия инструмента (рис. 3).

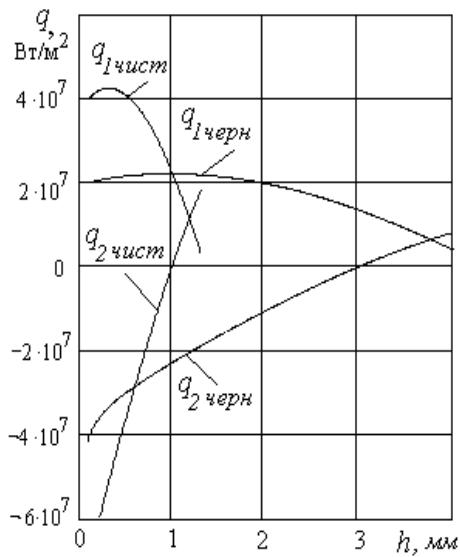


Рис. 3. Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия от износа по задней поверхности  $h$  для чистовой и черновой обработок

Расчеты выполнены для черновой обработки при режимах резания:  $V = 100$  м/мин,  $s = 0,8$  мм/об,  $t = 5$  мм; инструментальный материал - Т5К10; для чистовой обработки:  $V = 250$  м/мин,  $s = 0,3$  мм/об,  $t = 3$  мм; инструментальный материал - Т15К6.

Отрицательное значение плотности теплового потока на задней поверхности лезвия ( $q_2 < 0$ ) свидетельствует о направлении потока в сторону детали, что способствует охлаждению лезвия. При некотором значении износа он становится равным нулю, а затем меняет знак ( $q_2 > 0$ ). Теплота поступает в инструмент со стороны обеих контактных площадок, что приводит к существенному повышению температуры резания и катастрофическому изнашиванию лезвия инструмента.

При чистовой обработке тепловые потоки в области малых износов имеют большее значение, быстрее убывают и имеют значительно меньший критический износ, чем при черновой.

При анализе взаимосвязей тепловых потоков с режимами резания весьма важно знать влияние на них свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Для анализа степени влияния параметров обрабатываемого и инструментального материалов на значения тепловых потоков предлагается безразмерный коэффициент их относительного изменения, представляющий собой отношение значений тепловых потоков  $q_i$  к некоторому значению, принятому за базу  $q_{\sigma}$ :  $K_i = q_i/q_{\sigma}$ .

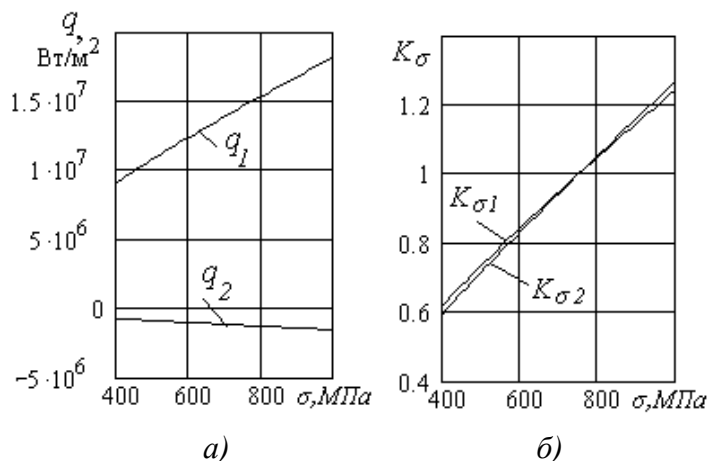


Рис.4. Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия и коэффициентов их относительного изменения  $K_{\sigma}$  от прочности обрабатываемого материала  $\sigma$

Закономерности изменения плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия в зависимости от прочности обрабатываемого материала представлены на рис. 4, а.

В качестве базового значения  $q_{\sigma}$  для расчета коэффициентов относительного изменения тепловых потоков от прочности обрабатываемого материала  $K_{\sigma}$  принимается значение тепловых потоков при  $\sigma = 750$  МПа. Коэффициенты относительного изменения тепловых потоков на передней и задней поверхностях

лезвия, представленные на рис. 4, б, равны:  $K_{\sigma 1} = q_1(\sigma)/q_1(750)$ ,  $K_{\sigma 2} = q_2(\sigma)/q_2(750)$ .

С использованием регрессионного анализа установлена линейная зависимость коэффициентов относительного изменения тепловых потоков от прочности, которая практически совпадает для потоков на передней и задней поверхностях лезвия:

$$K_{\sigma} = 0,8 + 2,2 \cdot 10^{-4} \sigma. \quad (3)$$

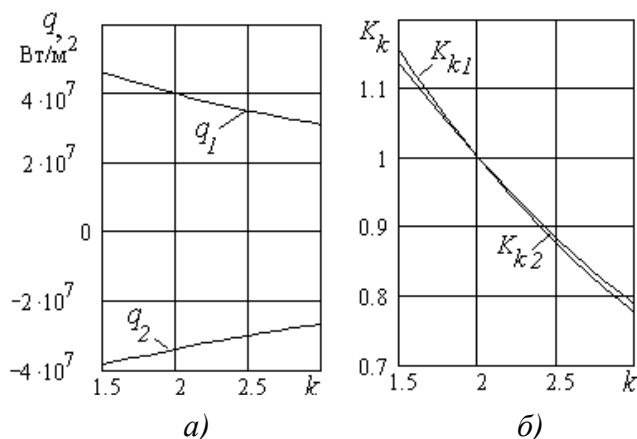


Рис.5. Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия и коэффициентов их относительного изменения  $K_k$  от коэффициента усадки стружки  $k$

ные на рис. 5, б, равны:  $K_{k1} = q_1(k)/q_1(2)$ ,  $K_{k2} = q_2(k)/q_2(2)$ .

Регрессионная линейная зависимость коэффициентов относительного изменения тепловых потоков от коэффициента усадки стружки, совпадающая для потоков на передней и задней поверхностях лезвия:

$$K_k = 1,5 - 0,25k. \quad (4)$$

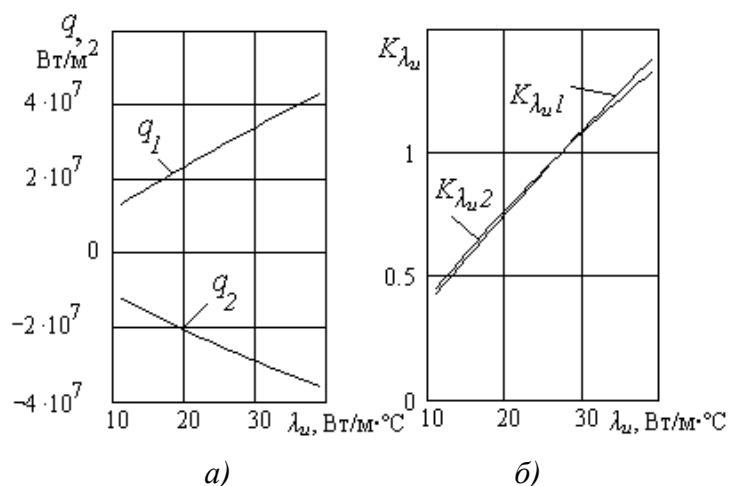


Рис.6. Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия и коэффициентов их относительного изменения  $K_{\lambda_u}$  от коэффициента теплопроводности инструмента  $\lambda_u$

Закономерности изменения плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия в зависимости от коэффициента усадки стружки  $k$  обрабатываемого материала представлены на рис. 5, а.

В качестве базового значения  $q_{bk}$  для расчета коэффициентов относительного изменения тепловых потоков от коэффициента усадки стружки  $K_k$  принимается значение тепловых потоков при  $k = 2$ . Коэффициенты относительного изменения тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия, представленные

Закономерности изменения плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия в зависимости от коэффициента теплопроводности инструментального материала представлены на рис. 6, а.

В качестве базового значения  $q_{b\lambda}$  для расчета коэффициентов относительного изменения тепловых потоков от коэффициента теплопроводности инструментального материала  $K_{\lambda u}$  принимается значение тепловых пото-

ков при  $\lambda = 27,2 \text{ Вт/м}^3\text{°С}$  для твердого сплава Т15К6. Коэффициенты относительного изменения тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия, представленные на рис. 6, б, равны:  $K_{\lambda_{u1}} = q_1(\lambda u)/q_1(27,2)$ ,  $K_{\lambda_{u2}} = q_2(\lambda u)/q_2(27,2)$ .

Регрессионная линейная зависимость коэффициентов относительного изменения тепловых потоков от коэффициента теплопроводности инструментального материала, совпадающая для потоков на передней и задней поверхностях лезвия:

$$K_{\lambda u} = 0,1 + 0,033\lambda_u. \quad (5)$$

Установленные (погрешность не превышает 10%) значения коэффициентов относительного изменения тепловых потоков (3), (4), (5) существенно упрощают расчеты тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента с учетом параметров обрабатываемого и инструментального материалов.

### Выводы

На основании разработанной методики расчета тепловых потоков в зоне резания с использованием созданного программного обеспечения установлены закономерности изменения плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента от режимов резания с учетом износа по задней поверхности лезвия в условиях черновой и чистовой токарной обработки конструкционных сталей твердосплавными резцами.

Обоснованы и предложены для практического применения коэффициенты относительного изменения тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента в зависимости от параметров обрабатываемого и инструментального материалов: прочности и коэффициента усадки стружки коэффициента обрабатываемого материала; теплопроводности инструментального материала.

Разработанная методика быть широко использована для прогнозирования закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания в зависимости от свойств обрабатываемого и инструментальных материалов, режимов резания, износа по задней поверхности лезвия для любых видов режущих инструментов.

**Список литературы:** 1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288с. 2. Резников А.Н. Теплофизика резания. – М.: Машиностроение, 1969. – 288с. 3. Ивченко Т.Г. Исследование закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания при точении // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип.20. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – С.88-94. 4. Ивченко Т.Г. Закономерности изменения тепловых потоков в зоне резания в зависимости от износа режущего инструмента// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Вып. 34. 5. Ивченко Т.Г. Совершенствование методики аналитического определения температуры резания// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2007. Вып. 33. – С.103-110.

## ВПЛИВ УМОВ ОБРОБКИ НА ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ В ЗОНІ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ

Івченко Т.Г.

На підставі розробленої методики розрахунку теплових потоків в зоні різання з використанням створеного програмного забезпечення встановлені закономірності зміни щільності теплових потоків на передній і задній поверхнях леза ріжучого інструменту від режимів різання з урахуванням зносу по задній поверхні леза в умовах чорнової і чистової токарної обробки конструкційних сталей твердосплавними різцями.

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Ивченко Т.Г.

На основании разработанной методики расчета тепловых потоков в зоне резания с использованием созданного программного обеспечения установлены закономерности изменения плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента от режимов резания с учетом износа по задней поверхности лезвия в условиях черновой и чистовой токарной обработки конструкционных сталей твердосплавными резцами.

## INFLUENCE OF MACHINING CONDITIONS ON CONFORMITY TO THE LAW OF FORMING OF THERMAL STREAMS IN CUTTING AREA AT TURNING

Ivchenko T.G.

On the basis of the developed method of calculation of thermal streams in cutting area with use of created software conformities to the law of change the closeness of thermal streams are set on the front and back surfaces of cutting instrument blade from of cutting conditions taking into account a wear on the back surface of blade in the conditions of draft and clean turning of construction steel by hard alloy cutters.

*Рецензент: д.т.н., проф. Матюха П.Г.*