

Ф.В. НОВИКОВ, О.С. КЛЕНОВ, И.В. ГЕРШИКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Предложено новое теоретическое решение определения температуры резания и глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании с учетом перерезания шлифовальным кругом адиабатических стержней, набором которых условно представлен снимаемый припуск. Показано, что с течением времени обработки температура резания непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к определенному значению, а глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании принимает конечное значение.

Ключевые слова: шлифование, тепловой процесс, температура резания, адиабатический стержень, время.

Введение. Шлифование является наиболее эффективным методом финишной обработки деталей машин, обеспечивающим высокое качество и точность обрабатываемых поверхностей. Однако, в связи с наличием неблагоприятных отрицательных передних углов режущих зерен и интенсивного трения связки круга с обрабатываемым материалом возможно увеличение силовой напряженности процесса шлифования, что приводит к появлению на обрабатываемых поверхностях различных температурных дефектов (прижогов, микротрещин, микро- и макросколов и т.д.). Это снижает качество обработки и приводит к потерям от брака изготавливаемых деталей. Чтобы повысить режущую способность шлифовального круга и исключить появление температурных дефектов, применяют разнообразные методы правки круга, технологические среды, прерывистые и импрегнированные круги и т.д. Вместе с тем, это не позволяет в полной мере решить проблему качества обработки в связи с высокой теплонапряженностью процесса шлифования. Поэтому актуально проведение теоретического анализа условия уменьшения температуры резания при шлифовании на основе новых теоретических подходов.

Анализ последних исследований. Вопросам теплофизики процесса шлифования посвящены многочисленные работы профессоров Маслова Е.Н., Ящерицына П.И., Резникова А.Н., Корчака С.Н., Худобина Л.В., Якимова А.В., Сипайлова В.А., Островского В.И., Сагарды А.А., Силина С.С., Евсева Д.Г., Филимонова Л.Н., Усова А.В. и других ученых. Так, в работах [1-3] решение задачи определения температуры резания при шлифовании базируется на решении дифференциального уравнения теплопроводности. Однако, в силу сложности его решения не установлена истинная глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании – в приведенных решениях она принимает бесконечное значение. Это ограничивает возможности обоснованного выбора оптимальных условий обработки и требует установления глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании и максимальной температуры резания.

Постановка задачи. В работе [4] предложена расчетная схема температуры резания при шлифовании, согласно которой снимаемый припуск представлен пакетом бесконечно тонких адиабатических стержней, расположенных перпендикулярно направлению движения шлифовального круга (рис. 1). Шлифовальный круг в результате перемещения со скоростью $V_{дет}$ некоторое время контактирует с торцом адиабатического стержня, вызывая его нагрев. Принимается, что образующееся в процессе шлифования тепло распространяется лишь вдоль прямолинейного адиабатического стержня. При этом перерезание стержня длиной, равной глубине шлифования, не рассматривается, т.е. процесс нагрева стержня происходит в результате трения шлифовального круга с торцевой поверхностью стержня. Очевидно, это существенно упрощает расчет температуры резания при шлифовании, что может привести к значительному расхождению расчетных и экспериментальных данных. В связи с этим важно оценить достоверность применяемых подходов к расчету температуры резания при шлифовании, которые не учитывают перерезание адиабатических стержней, которыми условно представлен снимаемый припуск, в процессе шлифования. В работах [5, 6] предложены подходы к аналитическому расчету температуры резания при шлифовании с учетом перерезания адиабатических стержней шлифовальным кругом. Чтобы уточнить полученные решения, в настоящей работе поставлена задача численного расчета температуры резания при шлифовании с учетом перерезания адиабатических стержней шлифовальным кругом.

Математическая модель. В основу расчета положена аналитическая зависимость для определения глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании, т.е. глубины проникновения тепла в рассматриваемый адиабатический стержень (рис. 1) [5]:

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала обрабатываемой детали, Вт/м·К; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала обрабатываемой детали, кг/м³; τ – время контакта шлифовального круга с адиабатическим стержнем, с; $V_{кр}$, $V_{дет}$ – скорости круга и детали, м/с; t – глубина шлифования, м.

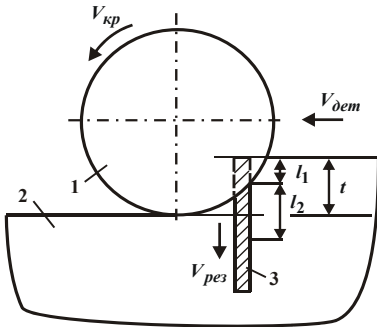


Рис. 1. Расчетная схема параметров теплового процесса при плоском шлифовании: 1 – круг; 2 – деталь; 3 – адиабатический стержень

Согласно зависимости (1), параметр l_2 определяется одной переменной величиной τ . Чем она больше, тем больше l_2 , т.е. чем больше тепла поступает в адиабатический стержень, тем больше l_2 и тем больше стержень нагревается. Данная закономерность справедлива при действии теплового потока q на неподвижную торцовую поверхность адиабатического стержня. Если же рассматривать движение теплового потока q вдоль адиабатического стержня с фиксированной скоростью $V_{рез}$, определяемой скоростью перерезания стержня шлифовальным кругом, то закономерности формирования параметра l_2 и температуры резания изменятся. Для удобства анализа непрерывное равномерное движение со скоростью $V_{рез}$ теплового источника вдоль адиабатического стержня можно рассматривать периодическим с шагом $V_{рез} \cdot d\tau$, где $d\tau$ – бесконечно малое время, с.

Тогда за время $d\tau$ глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали определится:

$$l_{20} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot d\tau} \tag{2}$$

В связи с перерезанием части адиабатического стержня длиной $V_{рез} \cdot d\tau$ глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали уменьшится на величину $V_{рез} \cdot d\tau$ и станет равной

$$l_{21} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot d\tau} - V_{рез} \cdot d\tau \tag{3}$$

Учитывая то, что параметр l_2 , исходя из зависимости (1), определяется лишь одной переменной τ , зависимость (3) можно представить в виде:

$$l_{21} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_1} \tag{4}$$

где τ_1 – время нагрева адиабатического стержня при его перерезании на величину $V_{рез} \cdot d\tau$, с.

Сравнивая зависимости (3) и (4), получено:

$$\tau_1 = \frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot d\tau} - V_{рез} \cdot d\tau \right)^2 = d\tau \cdot (1 - \alpha)^2 \tag{5}$$

где $\alpha = \frac{V_{рез} \cdot d\tau}{l_{20}} < 1$.

Как видно, $\tau_1 < d\tau$, т.е. вследствие перерезания части адиабатического стержня длиной $V_{рез} \cdot d\tau$, время нагрева стержня уменьшилось, что в соответствии с зависимостью (4) приводит к уменьшению параметра l_{21} :

$$l_{21} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_1} \cdot (1 - \alpha) = l_{20} \cdot (1 - \alpha) \tag{6}$$

При втором шаге теплового источника на величину $V_{рез} \cdot d\tau$ параметр l_{22} , аналогично l_{21} , определится:

$$l_{22} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot (d\tau + \tau_1)} - V_{рез} \cdot d\tau \tag{7}$$

С другой стороны:

$$l_{22} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_2} \tag{8}$$

где τ_2 – время нагрева адиабатического стержня при его перерезании на величину $2 \cdot V_{рез} \cdot d\tau$, с.

Сравнивая зависимости (7) и (8), получено:

$$\tau_2 = \frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot (d\tau + \tau_1)} - V_{рез} \cdot d\tau \right)^2 = d\tau \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_1}{d\tau}} - \alpha \right)^2 \tag{9}$$

С учетом зависимости (5) имеем:

$$\tau_2 = d\tau \cdot \left[\sqrt{1 + (1 - \alpha)^2} - \alpha \right]^2 \tag{10}$$

Очевидно, $\tau_2 > \tau_1$. Тогда

$$l_{22} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot d\tau \cdot \left[\sqrt{1 + (1 - \alpha)^2} - \alpha \right] = l_{20} \cdot \left[\sqrt{1 + (1 - \alpha)^2} - \alpha \right]. \quad (11)$$

При третьем шаге теплового источника на величину $V_{pez} \cdot d\tau$ параметр l_{23} , аналогично l_{22} , определится:

$$l_{23} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot (d\tau + \tau_2) - V_{pez} \cdot d\tau; \quad (12)$$

$$l_{23} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau_3, \quad (13)$$

где τ_3 – время нагрева адиабатического стержня при его перерезании на величину $3 \cdot V_{pez} \cdot d\tau$, с.

Сравнивая зависимости (12) и (13), получено:

$$\tau_3 = \frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot (d\tau + \tau_2) - V_{pez} \cdot d\tau \right)^2 = d\tau \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_2}{d\tau}} - \alpha \right)^2. \quad (14)$$

С учетом зависимости (10) имеем:

$$\tau_3 = d\tau \cdot \left\{ \sqrt{1 + \left[\sqrt{1 + (1 - \alpha)^2} - \alpha \right]^2} - \alpha \right\}^2. \quad (15)$$

Как видно, $\tau_3 > \tau_2 > \tau_1$. Соответственно параметр l_{23} определится:

$$l_{23} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot d\tau \cdot \left\{ \sqrt{1 + \left[\sqrt{1 + (1 - \alpha)^2} - \alpha \right]^2} - \alpha \right\}. \quad (16)$$

Сравнивая зависимости (16), (11) и (6) видно, что $l_{23} > l_{22} > l_{21}$. Следовательно, с увеличением числа шагов, равных $V_{pez} \cdot d\tau$, глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали увеличивается. При последующем четвертом шаге теплового источника на величину $V_{pez} \cdot d\tau$ параметр l_{24} определится:

$$l_{24} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot (d\tau + \tau_3) - V_{pez} \cdot d\tau; \quad (17)$$

$$l_{24} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau_4, \quad (18)$$

где τ_4 – время нагрева адиабатического стержня при его перерезании на величину $4 \cdot V_{pez} \cdot d\tau$, с.

Сравнивая зависимости (18) и (17) получено:

$$\tau_4 = \frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot (d\tau + \tau_3) - V_{pez} \cdot d\tau \right)^2 = d\tau \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_3}{d\tau}} - \alpha \right)^2. \quad (19)$$

Подставляя зависимость (15) в (19), имеем:

$$\tau_4 = d\tau \cdot \left\{ \sqrt{1 + \left[\sqrt{1 + \left[\sqrt{1 + (1 - \alpha)^2} - \alpha \right]^2} - \alpha \right]^2} - \alpha \right\}^2. \quad (20)$$

Из зависимостей (20), (15), (10) и (6) следует: $\tau_4 > \tau_3 > \tau_2 > \tau_1$. Подставляя зависимость (20) в (18) получено:

$$l_{23} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot d\tau \cdot \left\{ \sqrt{1 + \left[\sqrt{1 + \left[\sqrt{1 + (1 - \alpha)^2} - \alpha \right]^2} - \alpha \right]^2} - \alpha \right\}. \quad (21)$$

Аналогично можно определить значения l_{25}, \dots, l_{2n} . Однако, как видно, закон изменения l_2 с увеличением числа шагов n довольно сложный и выразить его простой аналитической зависимостью сложно. Поэтому более просто определить l_2 с использованием численного расчета на основе зависимости (9), представив ее в виде:

$$\frac{\tau_n}{d\tau} = \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_{n-1}}{d\tau}} - \alpha \right)^2, \quad (22)$$

где τ_n, τ_{n-1} – время нагрева адиабатического стержня при его перерезании соответственно на величины $n \cdot V_{pez} \cdot d\tau$ и $(n-1) \cdot V_{pez} \cdot d\tau$, с.

Безразмерная величина α может изменяться в пределах от 0...1.

Результаты расчетов. Для $\alpha = 0,2$ зависимость (22) принимает вид:

$$\frac{\tau_n}{d\tau} = \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_{n-1}}{d\tau}} - 0,2 \right)^2. \quad (23)$$

Начальное значение $\tau_1/d\tau$ определяется из зависимости (5) и равно 0,64. Тогда, согласно зависимости (23), имеем $\tau_2/d\tau = 1,1677$. Подставляя в зависимость (23) данное значение, определяется $\tau_3/d\tau = 1,6187$ и т.д.

Очевидно, параметр τ_n с увеличением числа шагов n непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к определенному значению. Чтобы определить это значение, следует воспользоваться условием

$$l_{2n+1} = l_{2n} + V_{pez} \cdot d\tau, \quad (24)$$

рассматривая его в виде:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot (d\tau + \tau_{n-1})} - \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_n} = V_{pez} \cdot d\tau \quad (25)$$

После умножения левой части уравнения (25) на сопряженную величину $\sqrt{(d\tau + \tau_{n-1})} - \sqrt{\tau_n}$, получено:

$$\frac{d\tau + \tau_{n-1} - \tau_n}{(\sqrt{d\tau + \tau_{n-1}} + \sqrt{\tau_n})} = V_{pez} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot d\tau. \quad (26)$$

С учетом $\tau_n - \tau_{n-1} = d\tau_n$ и $d\tau + \tau_{n-1} \approx \tau_n$ зависимость (26) опишется:

$$d\tau - d\tau_n = V_{pez} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot 2 \cdot \sqrt{\tau_n} \cdot d\tau. \quad (27)$$

В результате получено уравнение:

$$d\tau = \frac{d\tau_n}{\left(1 - 2 \cdot V_{pez} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot \tau_n \right)}. \quad (28)$$

Для установления зависимости τ_n от τ проинтегрируем правую и левую части уравнения (28):

$$\int d\tau = \int \frac{d\tau_n}{\left(1 - 2 \cdot V_{pez} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot \tau_n \right)} + C_1, \quad (29)$$

где C_1 – постоянная интегрирования, определяется из начального условия $\tau_n(\tau = 0) = 0$.

Интеграл в правой части уравнения установить нельзя. Поэтому преобразуем его с учетом переменной $y = \sqrt{\tau_n}$. Тогда $\tau_n = y^2$; $d\tau_n = 2 \cdot y \cdot dy$. Обозначая постоянную величину $2 \cdot V_{pez} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} = m$, имеем

$$\int \frac{d\tau_n}{\left(1 - 2 \cdot V_{pez} \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda}} \cdot \tau_n \right)} = \int \frac{2 \cdot y \cdot dy}{m \cdot \left(\frac{1}{m} - y \right)} = -\frac{2}{m} \cdot \int \frac{\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m} - y \right) \cdot dy}{\left(\frac{1}{m} - y \right)} = -\frac{2}{m} \cdot \left[\sqrt{\tau_n} + \frac{1}{m} \cdot \ln \left(\frac{1}{m} - \sqrt{\tau_n} \right) \right]. \quad (30)$$

Подставляя зависимость (30) в уравнение (29), получено:

$$\tau = -\frac{2}{m} \cdot \left[\sqrt{\tau_n} + \frac{1}{m} \cdot \ln \left(\frac{1}{m} - \sqrt{\tau_n} \right) \right] + C_1. \quad (31)$$

Постоянная интегрирования C_1 определяется из начального условия $\tau_n(\tau = 0) = 0$:

$$C_1 = \frac{2}{m^2} \cdot \ln \frac{1}{m}. \quad (32)$$

Тогда уравнение (31) принимает вид:

$$\sqrt{\tau_n} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - e^{-\frac{m^2}{2} \tau - m \cdot \sqrt{\tau_n}} \right). \quad (33)$$

При $\tau_n = 0$ величина $\tau = 0$, т.е. выполняется начальное условие, что свидетельствует о правильности полученного решения. Уравнение (33) сложно разрешить относительно неизвестной функции τ_n . Поэтому для установления зависимости τ_n от τ необходимо задавать значения τ_n и из уравнения (33) определять значения τ .

Как следует из уравнения (33), функция τ_n с увеличением переменной величины τ увеличивается по экспоненциальному закону, асимптотически приближаясь к определенной постоянной (максимальной) величине. Для ее определения уравнение (33) необходимо подчинить условию $\tau \rightarrow \infty$. В результате получено:

$$e^{-\frac{m^2}{2}\tau - m\sqrt{\tau_n}} \rightarrow 0. \quad (34)$$

Тогда, исходя из уравнения (33), имеем:

$$\tau_n = \frac{1}{m^2} = \frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot V_{рез}^2}; \quad (35)$$

$$l_{2n} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_n} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{V_{рез}}. \quad (36)$$

Зная максимальное значение τ_n , определяемое зависимостью (35), и уменьшая его до нуля, по преобразованному уравнению (33):

$$(1 - m \cdot \sqrt{\tau_n}) \cdot e^{m\sqrt{\tau_n}} = e^{-\frac{m^2}{2}\tau} \quad (37)$$

несложно установить значения τ и соответственно зависимость τ_n от τ .

Перспективы дальнейших исследований. Авторы считают перспективными направления исследований, связанные с аналитическим определением температуры резания при шлифовании с учетом конечной глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании. Это позволит научно обоснованно подойти к анализу тепловой напряженности процесса шлифовании и выбору оптимальных условий обработки с учетом ограничения по температуре резания.

Выводы. В работе предложено новое теоретическое решение определения температуры резания и глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании с учетом перерезания шлифовальным кругом адиабатических стержней, набором которых условно представлен снимаемый припуск. В результате установлено, что с течением времени обработки температура резания непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к определенному значению, а глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при шлифовании, в отличие от известных теоретических решений, принимает конечное значение. Это приближает расчетную схему теплового процесса при шлифовании к реальным условиям шлифовании и позволяет научно обоснованно подойти к анализу тепловой напряженности процесса шлифовании и выбору оптимальных условий обработки с учетом ограничения по температуре резания.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифовании / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 166 с. 3. Моделирование систем: монография / Г.А. Оборский, А.Ф. Дашенко, А.В. Усов и др. – Одесса: Астропринт, 2013. – 664 с. 4. Теоретические основы резания и шлифовании материалов: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 5. Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20. 6. Новиков Ф.В. Расчет температуры шлифовании и глубины ее проникновения в поверхностный слой обрабатываемой детали / Ф.В. Новиков, И.А. Рябенков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №1/2 (31). – С. 9-12.

Bibliography (transliterated): 1. Yakimov A.V. Optimizatsiya protsessy shlifovaniya / A.V. Yakimov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 175 s. 2. Sipaylov V.A. Teplovye protsessy pri shlifovanii i upravlenie kathestvom poverkhnosti / V.A. Sipaylov. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 166 s. 3. Modelirovanie sistem: monografiya / G.A. Oborskiy, A.F. Dashchenko, A.V. Usov i dr. – Odessa: Astroprint, 2013. – 664 s. 4. Teoreticheskie osnovy rezaniya i shlifovaniya materialov: utheb. posobie / A.V. Yakimov, F.V. Novikov, G.V. Novikov i dr. – Odessa: OGPU, 1999. – 450 s. 5. Novikov F.V. Povyshenie effektivnosti tekhnologii finishnoy obrabotki detaley par treniya porshnevnykh nasosov / F.V. Novikov, S.M. Yatsenko // Trudy 13 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsiy. Fizicheskie i kompyuternye tekhnologii. – Kharkov: KNPК “FED”, 2007. – S. 8-20. 6. Novikov F.V. Rasthet temperatury shlifovaniya i glubiny ee proniknoveniya v poverkhnostnyi sloy obrabatyvaemoy detali / F.V. Novikov, I.A. Ryabenkov // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – 2008. – №1/2 (31). – S. 9-12.

Поступила (received) 30.09.2015

Новиков Федор Васильевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнеца; тел.: (067) 6890342; e-mail: fokusnic1@rambler.ru.

Novikov Fedor Vasilevith – doctor of technical sciences, professor, Kharkiv National Economic University named after S. Kuznets; tel.: (067) 6890342; e-mail: fokusnic1@rambler.ru.

Кленов Олег Станиславович – кандидат технических наук, Фирма “ДиМерус Инженеринг”, Харьков; тел.: (057) 7578777; e-mail: anna@dimerus.com

Klenov Oleg Stanislavovith – candidate of Technical Sciences, Firm "DiMerus Engineering", Kharkov; tel.: (057) 7578777; e-mail: anna@dimerus.com

Гершиков Илья Владимирович, ЗАО “Азовский машиностроительный завод”, Бердянск; тел.: (06153) 45979; e-mail: direktor@amz.com.ua

Gershikov Ilya Vladimirovith, JSC "Azov Machine Building Plant", Berdyansk; tel.: (06153)45979; e-mail: direktor@amz.com.ua