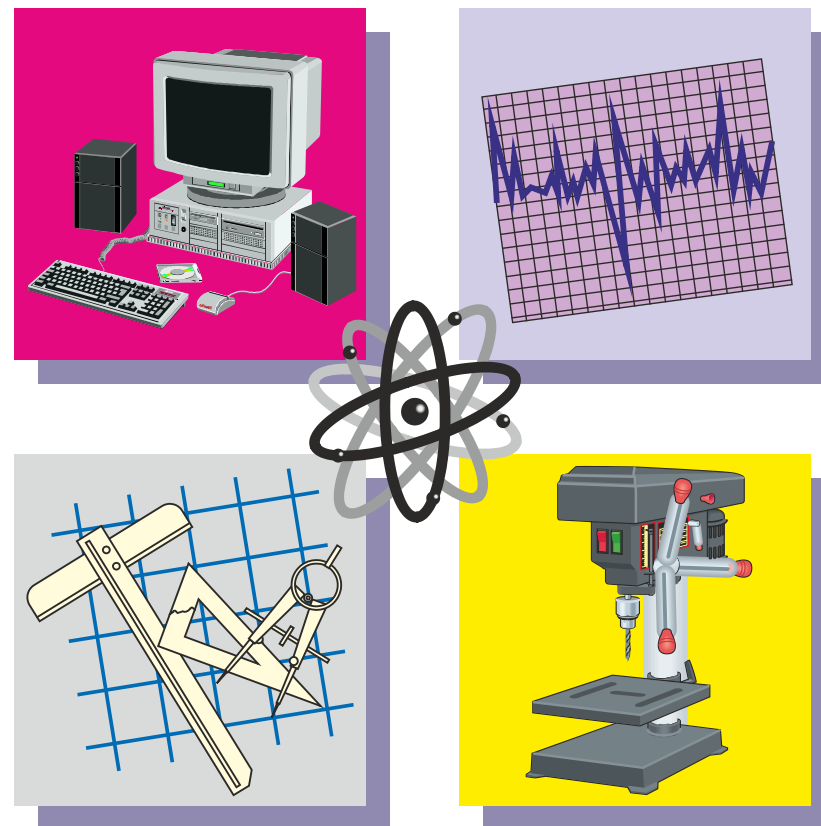


№ 1(33)' 2022 Студенческий научно-технический журнал ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

ИНЖЕНЕР

№ 1(33)' 2022



ДОНЕЦК - 2022



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 1(33) '2022

Донецк – 2022

УДК 62

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 3 от 24 июня 2022 г.)

Журнал «Инженер» ориентирован на публикацию научных работ студентов, магистрантов, стажеров, аспирантов, молодых специалистов по вопросам: создания и применения прогрессивных технологий; информационных технологий; механизации и автоматизации производственных процессов; управления качеством, метрологии, сертификации; вопросам экономической теории и практики; моделирования, расчетов и проектирования сложных технических систем, экологических проблем промышленности.

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

Учредитель – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

Михайлов А. Н.
Чернышев Е.А.
Лахин А.М.

Редакционная коллегия:

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Грубка Р. М., Петряева И.А., Селивра С. А.

Адрес редакции:

ДонНТУ, каф. ТМ
6-й учебный корпус, 6.305
ул. Артема, 58
283001, г. Донецк, ДНР, РФ
Тел.: +7 949 306-09-79

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Донецкой Народной Республики. Регистрационный номер 000134 от 06 июня 2017 г.

ISSN 2073-5804

© ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2022

МОДЕЛЬ РАДИАЦИОННОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КАБИНЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Ашихмин Д.В., Бараниченко В.В., Масленский В.В., Павликов А.В.

(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Tel: +7 (989) 5243331; E-mail: willywonkazeus@gmail.com

***Аннотация:** Обоснована необходимость широко внедрять модели «цифрового двойника» для кабин мобильных и технологических машин. Разработана математическая модель радиационной теплопередачи, на основе которой выполнена компьютерная имитация радиационного теплопереноса.*

***Ключевые слова:** Микроклимат, моделирование, радиационная теплопередача.*

1. Введение.

Проблема рационального проектирования систем нормализации микроклимата в кабинах мобильных и технологических машин (МТМ) может эффективно решаться путем создания цифровых образов («цифровых двойников» или кратко ЦД) создаваемых технических объектов [1]. Развитие информационных технологий открывает новые возможности использовать средства и методы анализа физико-химических параметров сред сложной гетерогенной структуры в реалистичной геометрии проекта [2]. Практически разработка ЦД позволяет использовать его как для проведения различных оптимизационных расчетов, так и для управления протекающими процессами [3,4].

Для разработки качественной модели ЦД системы определения физико-химических параметров в рабочей среде оператора и их нормализации на современном этапе предметных научных знаний приходится сочетать различные виды моделирования: физическое, математическое, компьютерное, в т.ч. с использованием специализированных интеллектоемких программных продуктов [3,4].

Целью данной работы является разработка адекватной физико-математической модели условий теплового облучения в кабинах технологических машин, позволяющей создавать ЦД для широкой номенклатуры подобной техники [5]. Разработка ЦД системы нормализации микроклимата в кабинах МТМ позволит качественно решать разнообразные задачи здоровьесбережения операторов подобной техники.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать математическую модель радиационной теплопередачи, на ее основе сформировать ЦД и симитировать радиационный теплоперенос в кабинах МТМ, опираясь на хорошо апробированный метод конечных элементов.

2. Математическая модель радиационной теплопередачи. Проектирование климатической системы довольно сложная и объёмная задача, которую необходимо начинать рассматривать с математического моделирования термодинамических параметров и тепломассопереноса, а также движения воздушных потоков в кабине оператора. В данной статье рассматривается моделирование радиационной теплопередачи [4,5].

Радиационную теплопередачу моделируют в случае, если лучистый тепловой поток выше теплового потока

$$Q_{\text{rad}} = \sigma (T_{\text{max}}^4 - T_{\text{min}}^4). \quad (1)$$

Общая модель радиационной теплопередачи для поглощающей, излучающей и рассеивающей среды в положении \vec{r} и направлении \vec{z} представлено уравнением:

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = a n^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s} \cdot \vec{s}') d\Omega'. \quad (2)$$

где \vec{r} – вектор положения; \vec{s} – вектор направления; \vec{s}' – вектор направления рассеяния; s – длина пути; a – коэффициент абсорбции газа; n – показатель преломления среды; σ_s – коэффициент рассеяния; σ – постоянная Стефана-Больцмана; I – интенсивность излучения; T – локальная температура газа; Φ – фазовая функция; Ω' – телесный угол; $(a + \sigma_s)$ – оптическая толщина или непрозрачность среды

Процесс радиационного теплообмена представлен на рис. 1.

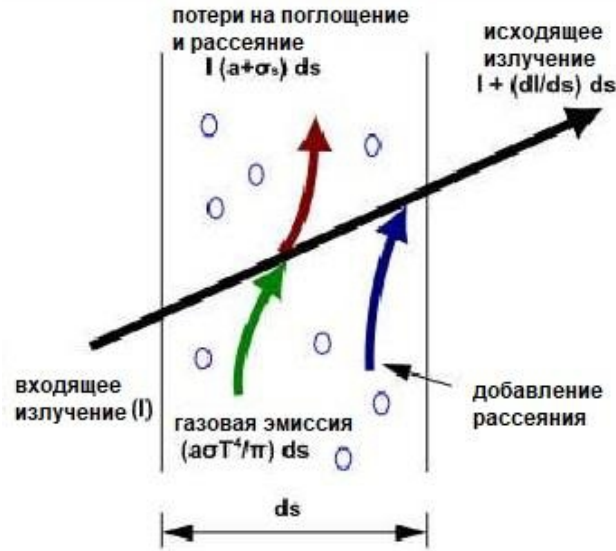


Рис. 1. Схема радиационного теплопереноса в кабинах МТМ

При моделировании радиационный нагрев поверхностей от искусственного источника тепла определим методом дискретных ординат. Модель излучения с дискретными ординатами решает уравнение переноса излучения (УПИ) для конечного числа дискретных телесных углов, каждый из которых связан с направлением вектора \vec{s} , фиксированным в декартовой системе (x, y, z) .

Модель излучения дискретный ординат рассматривает УПИ в направлении \vec{s} как уравнение поля. Следовательно, уравнение (2) можно записать следующим образом:

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = a n^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s} \cdot \vec{s}') d\Omega'. \quad (3)$$

Общая интенсивность $I(\vec{r}, \vec{s})$ в каждом направлении \vec{s} в положении \vec{r} вычисляется как

$$I(\vec{r}, \vec{s}) = \sum_k I_{\lambda_k}(\vec{r}, \vec{s}) \Delta \lambda_k. \quad (4)$$

Уравнение энергии при интегрировании по контрольному объему i дает дискретное уравнение энергии:

$$\sum_{j=1}^N \mu_{ij}^T T_j - \beta_i^T T_i = \alpha_i^T \sum_{k=1}^L I_i^k \omega_k - S_i^T + S_i^h, \quad (5)$$

где

$$\alpha_i^T = k \Delta V_i; \quad (6)$$

$$\beta_i^T = 16 k \sigma T_i^3 \Delta V_i; \quad (7)$$

$$S_i^T = 12 k \sigma T_i^4 \Delta V_i; \quad (8)$$

k – коэффициент поглощения; ΔV – контрольный объем.

Объединив уравнения (3) и (5) в дискретизированной форме, получаем:

$$\vec{P}_i \vec{q}_i + \vec{r}_i = 0, \quad (9)$$

Где

$$\vec{q}_i = \begin{bmatrix} I_i^1 \\ I_i^2 \\ \vdots \\ I_i^L \\ T_i \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$\vec{P}_i = \begin{bmatrix} M_{ii}^1 + \eta_i^{11} + \gamma_i^1 \omega_1 & \eta_i^{12} + \gamma_i^1 \omega_2 & \dots & \beta_i^1 \\ \eta_i^{21} + \gamma_i^2 \omega_1 & M_{ii}^2 + \eta_i^{22} + \gamma_i^2 \omega_2 & \dots & \beta_i^2 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ -\alpha_i^T \omega_1 & -\alpha_i^T \omega_2 & \dots & M_{ii}^T \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\vec{r}_i = \begin{bmatrix} \sum_{j=1, i \neq j}^N \mu_{ij}^1 I_j^1 - S_i^1 - S_i^B \\ \vdots \\ \sum_{j=1, i \neq j}^N \mu_{ij}^T T_j^T + S_i^T + S_i^h \end{bmatrix}. \quad (12)$$

3. Компьютерные модели радиационного теплопереноса. Для решения поставленной задачи применим метод конечных элементов в реализующем программном комплексе ANSYS [6].

На основе уравнений (1)-(12) задаём в ANSYS параметры, необходимые для моделирования наружных поверхностей стенок и теплового облучения кабины металлургического крана при различных вариантах источника теплового излучения (в качестве такого источника выбрана дуговая сталеплавильная печь ДСП-150). Результаты моделирования представлены на рис. 2-3.

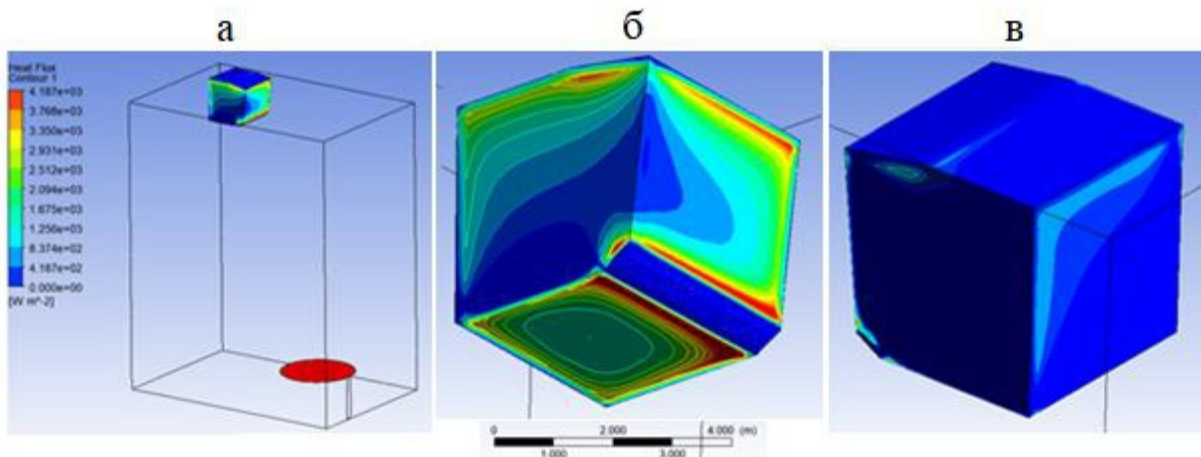


Рис. 2. Схема облученности кабины металлургического крана внешним тепловым источником: а – кабина металлургического крана и источник теплового излучения; б, в – стороны кабины, обращенные и не обращенные к источнику. В качестве источника теплового излучения выбрана печь ДСП-150 при открытом своде

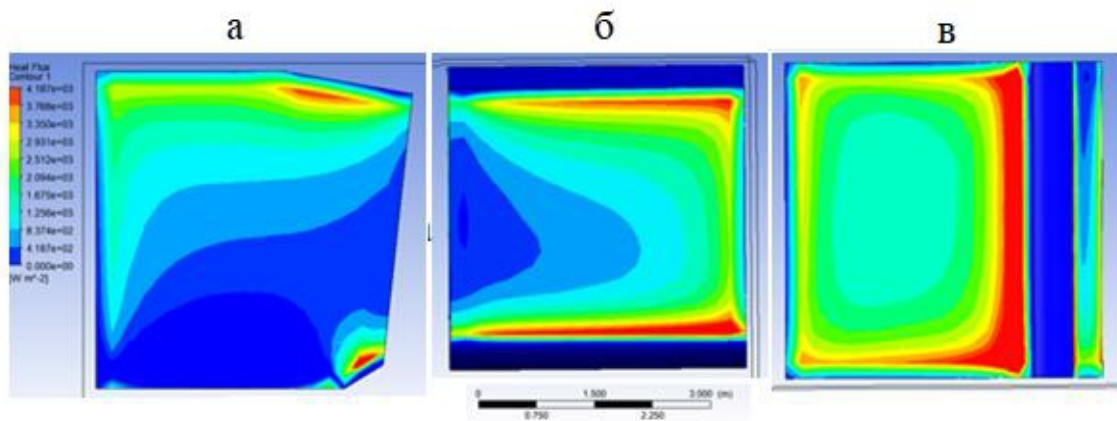


Рис. 3. Тепловой поток на облучаемых поверхностях кабины металлургического крана при открытом своде сталеплавильной печи: а – правая боковая стенка; б – передняя стенка; в – пол

Рассмотрим температурное поле в окрестности кабины металлургического крана и источника теплового излучения (рис. 4).

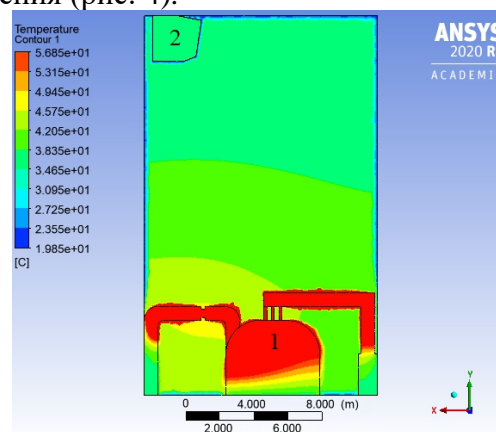


Рис. 4. Температурное поле в окрестности ограждения кабины металлургического крана: 1 – источник теплового излучения (ДСП-150); 2 – кабина

Аналогичное моделирование выполнено для кабины автопогрузчика (рис. 5-6).

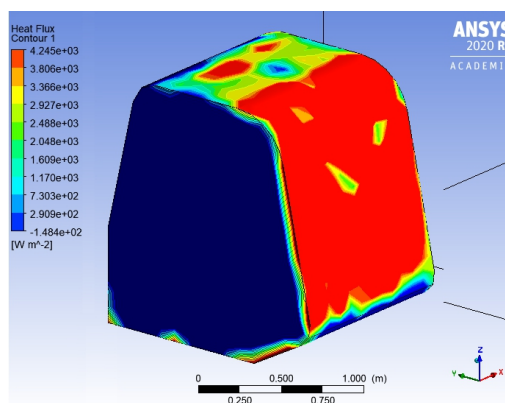


Рис. 5. Облучаемые поверхности кабины автопогрузчика

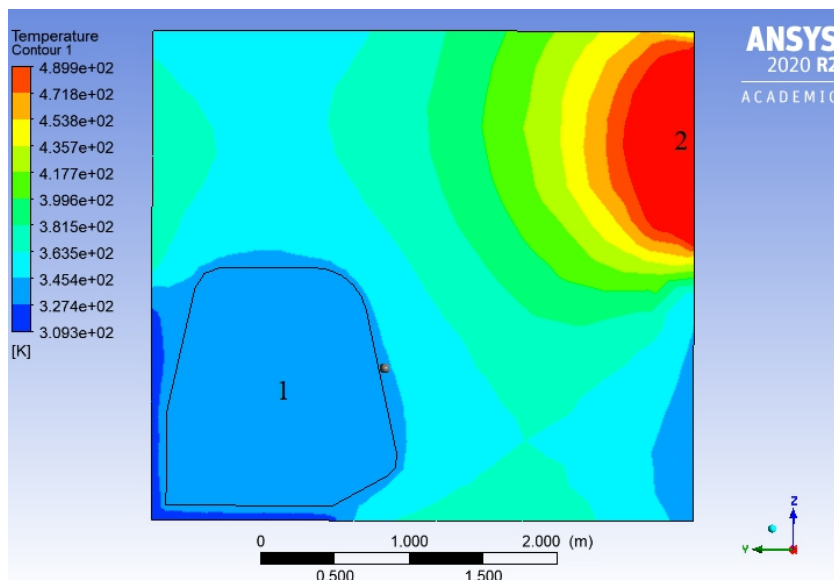


Рис.6. Температурное поле в окрестности ограждения кабины автопогрузчика: 1 – кабина; 2 – пламенная отражательная печь

Полученные результаты расчета теплового облучения кабин технологических машин и температуры воздуха вблизи наружных поверхностей, которая составила $36,5^{\circ}\text{C}$ для металлургического крана и $54,4^{\circ}\text{C}$ для автопогрузчика являются граничными условиями для расчета температуры воздуха во внутреннем объеме (рис. 7).

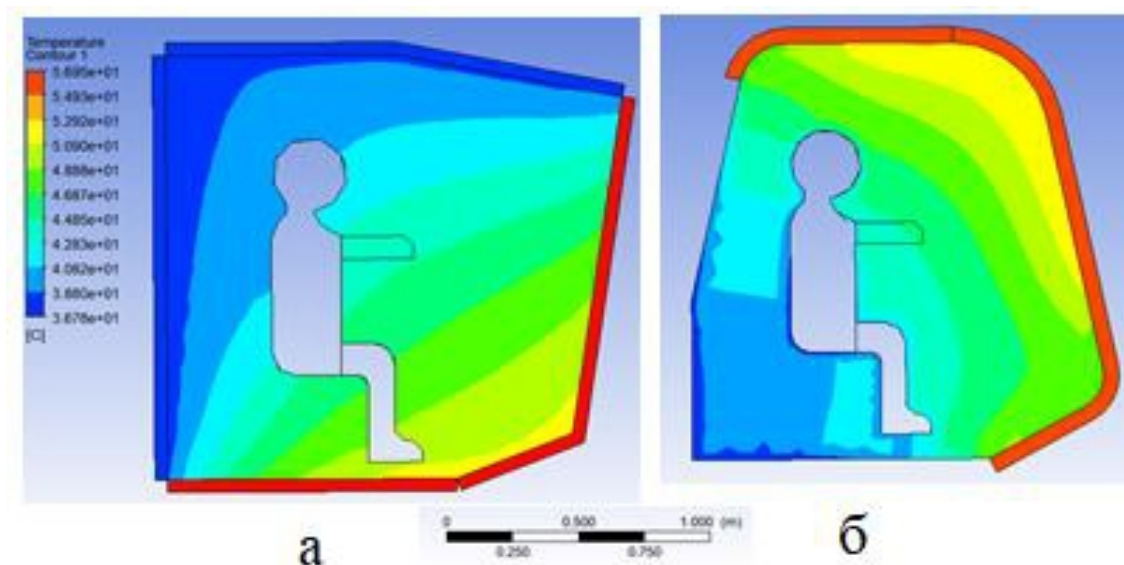


Рис.7. Температурное поле во внутреннем объеме кабины: а – металлургического крана; б – автопогрузчика

4. Выводы.

Согласно результатам компьютерного моделирования расположение кабин в пространстве относительно источников излучения напрямую влияет на облученность оператора. Исследование также выявило (методическое) преимущество

математического и компьютерного моделирования над инженерной методикой расчета методом эпюр облучения, где объекты рассматриваются как точечные. При этом погрешность инженерного метода расчета в сравнении с выполненным нами детальным моделированием достигает 34%.

Основной содержательный результат работы в том, что максимальному тепловому облучению подвергаются обращенные к источникам теплоты стенки кабин – пол, передняя и правая для металлургического крана и передняя и верхняя для автопогрузчика. При этом облученность наружных поверхностей кабины крана превышает санитарно-гигиенический норматив [7] в 6,1-12,0 раз (класс 3.1-3.2), автопогрузчика – 20,9-30,3 раз (класс 4). Как следствие температура воздуха во внутреннем объеме кабины металлургического крана составляет 42,8 °С, а автопогрузчика 51,2 °С, что значительно превышает допустимые значения [7]. Нормализация микроклимата кабин МТМ в такой ситуации требует устанавливать дополнительные защитные алюминиевые экраны.

Список литературы 1. Рахманов М.Л., Шишкин А.В. Современные цифровые технологии и цифровой двойник // *Качество и жизнь*. 2021. Т. 30, № 2. С. 57-59. **2.** Балакин В.В., Булычев Д.А., Дергунов И.М. Методика расчета теплообмена в топочной камере при сверхкритических параметрах рабочего тела с использованием ANSYS FLUENT // *Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии*. 2012. Т. 11, № 3. С. 143-147. **3.** Масленский В.В. Улучшение условий труда операторов технологических и мобильных машин в условиях нагревающего микроклимата. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.22: защищена 02.12.21: утв. 29.03.22 / Масленский Виктор Валерьевич. – Ростов н/Д, 2021. – 133 с. **4.** Корончик Д.А. Обеспечение допустимых параметров производственного микроклимата участков повышенной загазованности машиностроительных предприятий: дис. канд. техн. наук / Д.А. Корончик. – Ростов н/Д, 2013. – 161 с. **5.** Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Масленский В.В., Лоскутникова И.Н. Оценка терморadiационного режима рабочего места крановщика с целью обоснованного выбора климатической системы кабины металлургического крана // *Безопасность труда в промышленности*. – 2021. – № 2. – С. 7–14. **6.** Y.I. Bulygin, E.V. Shchekina, V.V. Maslensky, D.S. Popov, and A.V. Tryukhan Modeling of thermal radiation mode of "hot" shops in the software system ANSYS FluidFlow (CFX) and justification of thermal protection methods of the heat treaters // *AIP Conference Proceedings*. – 2019. – Vol. 2188. – Article 050033. doi: 10.1063/1.5138460. **7.** Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению от 24 января 2014 г. № 33н. // <https://base.garant.ru/> : [сайт]. — URL: <https://base.garant.ru/70583958/00596cfcfd5e75c08187ebab5dc0015be/> (дата обращения 02.09.2022).

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ В ВЧ РАЗРЯДЕ ПРИ БЕЗРАСХОДНОМ РЕЖИМЕ

Бариев И.И., Хубатхузин А.А. (кафедра ПНТВМ, КНИТУ, г. Казань, Россия)

Тел: +7(843)231-41-40

***Аннотация.** В статье приведены данные по модификации поверхности металлических образцов в ВЧ разряде при безрасходном режиме. Проведен аналитический обзор информации касающейся темы исследования в части модификации поверхности металлических образцов в ВЧ разряде при безрасходном режиме.*

***Ключевые слова:** плазма, высокочастотный разряд, физико-механические свойства, нанополировка, обработка поверхности.*

1. Введение

Эксплуатационные характеристики изделий зависят от состояния поверхностного слоя материала. Для объектов машиностроения новых поколений требуется получить прочностные и эксплуатационные показатели, совмещающие полезные свойства различных слоев изделий, такие как: высокая твердость, механические свойства при минимальной массе объекта, высокая степень защиты от коррозии при хорошей адгезии. В зависимости от назначения изделия и условий его работы детали могут подвергаться коррозионному воздействию, воспринимать большие нагрузки, испытывать контактное взаимодействие с другими деталями и т. д. Поэтому детали должны обладать достаточными контактной жесткостью, сопротивлением усталости, коррозионной стойкостью, износостойкостью и другими свойствами, во многом зависящими от качества поверхностного слоя.

Цель работы: исследовать модификацию поверхности металлических образцов в ВЧ разряде при безрасходном режиме.

Большинство экспериментов проходят при расходном режиме и существуют два типа ВЧ газовых разряда, это емкостной и индукционный. Из проведенного аналитического обзора было установлено, что глубина проникновения ионов в индукционном разряде выше чем емкостном так как плотность ионов (токов) здесь выше, температура их выше, а следовательно и их энергия более высокая по сравнению с емкостным разрядом. Но в индукционном разряде поверхность обрабатываемого изделия не велика. В основном она определяется размером плазматрона. Так же не высока и производительность данной установки. Емкостной разряд здесь имеет неоспоримые преимущества, поэтому перед мной была поставлена цель исследовать в безрасходном режиме так как здесь нет обдува изделия плазмообразующим газом поэтому температура изделия будет выше и посмотреть как изменятся свойства изделий.

2. Основное содержание и результаты работы

Протекание процесса работы на установке можно разделить на два основных этапа. Первый этап описывает процесс подготовки экспериментальных образцов к обработке в ВЧ-плазме. В этом этапе была произведена физическая очистка образцов свидетелей (пластин) на специальном шлифовальном станке при охлаждении проточной водой. Второй этап непосредственно обработка экспериментальных изделий в ВЧ плазменной установке. Сам опыт проводился на стальной пластине – 14ХГСН2МА. Химический состав которого вы можете увидеть на данном слайде. Изначально каждый

образцы были пронумерованы и через микроскоп мы просканировали поверхность и заметили, что шероховатость материала высокая и обусловлена она глубокими впадинами и выступами.

Для обработки материала использовались индукционный разряд с цилиндрической разрядной камерой при безрасходном режиме. Образцы-свидетели обрабатывались при разных мощностях 1000, 1500 и 2000 Вт. После обработки материала мы так же просканировали поверхность образца в микроскопе. Полученные результаты приведены в таблице 1 – 3.

Таблица 1 – Физико-механические свойства 3 образца

3 образец свойства	14ХГСН2МА		
	до обработки	после обработки	процент изменения, %
Микротвердость Н _μ , МПА	295,4	432,4	46,38
Модуль упругости Е, ГПА	597,32	720,93	20,69
R _a , мкм	1,846	1,752	-5,09
R _z , мкм	11,69	12,128	3,75

Таблица 2 – Физико-механические свойства 4 образца

4 образец свойства	14ХГСН2МА		
	до обработки	после обработки	процент изменения, %
Микротвердость Н _μ , МПА	295,4	602,4	103,93
Модуль упругости Е, ГПА	597,32	720,93	20,69
R _a , МКМ	1,64	1,486	-7,93
R _z , МКМ	8,417	8,154	-3,12

Таблица 3 – Физико-механические свойства 5 образца

5 образец свойства	14ХГСН2МА		
	до обработки	после обработки	процент изменения, %
Микротвердость Н _μ , МПА	295,4	502,4	70,07
Модуль упругости Е, ГПА	597,32	720,93	20,69
R _a , мкм	2,267	2,157	-2,9
R _z , мкм	16,337	15,864	-4,85

3. Заключение

Проведена обработка экспериментальных образцов в плазме высокочастотного разряда. Исследовав влияние высокочастотной плазмы низкого давления на сталь, пришли к выводу, что, после обработки высокочастотным разрядом низкого давления при безрасходном режиме, свойства, такие как: шероховатость и микротвердость улучшаются. Сравнивая с литературными данными, было выявлено, что в безрасходном режиме микротвердость увеличивается в два раза, так же происходит распыление материала, но значения для 3 образца не значительны.

Список литературы: 1. Смирнов Н. С., Простаков М. Е., Липкин Я. Н. Очистка поверхности стали. – *Металлургия*, 1978. – С. 230. 2. Малышев Г. П., Кулик П. С. Исследование возможности использования бластинговой технологии в металлургическом производстве. – 2012. – С. 35-39. 3. Царук О. В., Койда С. Г. Способы очистки металлических поверхностей. – 2011. – С. 149-156 4. Коростелева Т. К. и др. Динамика стравливания окалины с низкоуглеродистой стали в кислотах //Протестион оф металс. – 1989. – Т. 25. – №. 3. – С. 405. 5. *Машиностроение. Энциклопедия* [Текст] / под. ред. А.Г. Сулова. - М.: Машиностроение, 2000. – Т. III–3. - 840 с. 6. *Научные технологии в машиностроении* [Текст] / А.Г. Сулов, Б.М. Базров; под. ред. А.Г. Сулова. - М.: Машиностроение, 2012. – 528 с. 7. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки [Текст] / Е.В. Смоленцев. - М.: Машиностроение, 2005. – 511 с.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ ПРОЦЕССА ВИСО НА ОСНОВЕ МОДАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИНТЕЗИРУЕМЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

Белозеров М.А., Лебедев В.А. (*кафедра ТМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону*)

В конструкцию авиационных изделий входят группы высоконагруженных деталей, надежность и долговечность, которых, в значительной мере определяет ресурс работы и надежность всего изделия. Значительное количество деталей такого рода имеют сложную форму, ограниченную жесткость и высокие требования к точности формы и размеров, которые формируются на стадии механической обработки.

В результате неоднородной пластической деформации, которая создается при механической обработке, в деталях формируются и сохраняются технологические остаточные напряжения (ОН) [1, 2, 3]. Перераспределение остаточных напряжений сопровождается изменением первоначальной геометрической формы изделия - его короблением.

Соотношения, полученные в работе [4], позволяют назначать амплитуду циклических напряжений (ЦН) и время обработки для снижения ОН в определенной точке материала до уровня, который гарантировал бы отсутствие короблений детали при ее эксплуатации. Для обеспечения управляемости процесса вибрационной стабилизирующей обработки (ВиСО), предпосылки применения которой достаточно подробно раскрыты в работах [5-7], ставится задача синтеза поля ЦН, наложение которого на поле ОН за время обработки снижает последние до уровня, не превосходящего допустимый. Вибрационное поле, удовлетворяющее этому признаку, будем называть стабилизирующим, задача которого, естественным образом раскладывается на две. Первая состоит в создании вдоль обрабатываемого конструктивного элемента равномерного распределения ОН, обеспечивающего [8] минимальное коробление. Решение этой задачи непосредственно получается из следующего соотношения [4]:

$$\sigma_a = \frac{1}{\Gamma} \cdot I_0^{-1} \left\{ \frac{e^{-r \cdot \sigma_r^{\text{доп}}} - e^{-r \cdot \sigma_r^0}}{B \cdot t_{\text{об}}} \right\} \quad (1)$$

где, σ_a – амплитуда ЦН;

I_0^{-1} – функция, обратная модифицированной функции Бесселя $I_0(p)$;

$t_{об}$ – время обработки;

$\sigma_r^{доп}$ – допустимые ОН;

σ_r^o – исходные ОН;

B, Γ – коэффициенты, описывающие релаксационные свойства материала

На рис. 1 для параметров B и Γ , соответствующих серому чугуну, приведены зависимости $\sigma_a(\sigma_r^o)$ при различных значениях $\sigma_r^{доп}$.

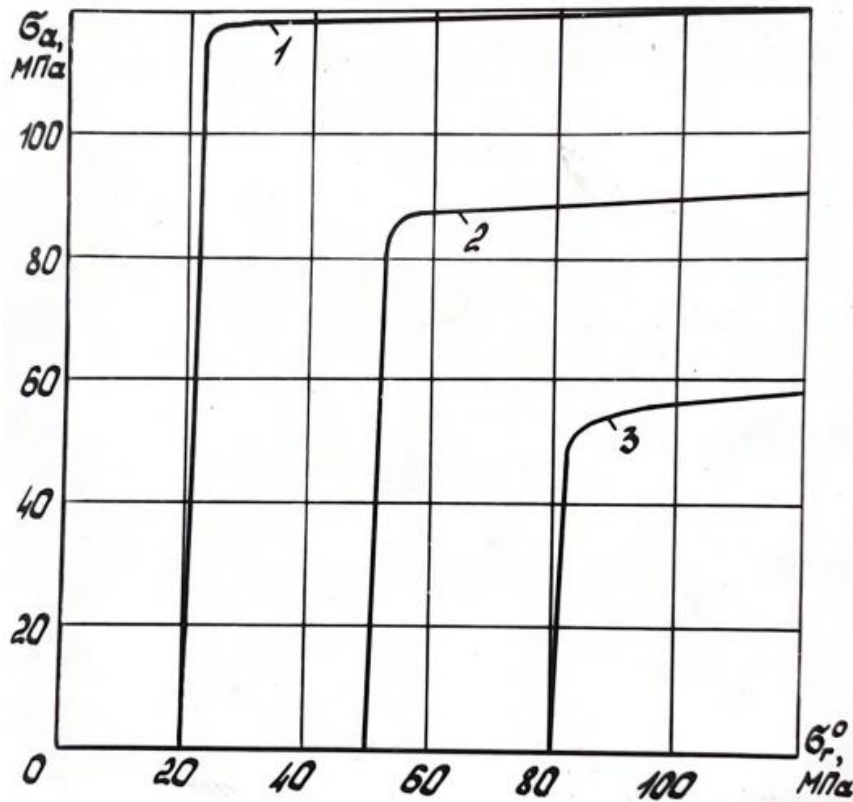


Рис. 1. Зависимость амплитуды стабилизирующих циклических напряжений σ_a от исходных остаточных напряжений σ_r^o . 1 - $\sigma_r^{доп} = 20$ МПа; 2 - $\sigma_r^{доп} = 50$ МПа, 3 - $\sigma_r^{доп} = 80$ МПа

При расчетах время обработки принималось равным 10^3 с ≈ 16 мин. Кривые начинаются из точек $(\sigma_r^o = \sigma_r^{доп}, 0)$, показывая, что в этом случае стабилизирующей обработки не требуется. При фиксированном $\sigma_r^{доп}$ величина требуемых амплитуд σ_a практически не зависит от исходных ОН σ_r^o . Таким образом, полная стабилизация напряженного состояния базового конструктивного элемента обеспечивается примерно постоянной амплитудой ЦН σ_a вдоль всего элемента.

Вторая задача состоит в синтезе вибрационного поля требуемой амплитуды и конфигурации с учетом формы конкретной детали. Ее решение будет осуществляться с помощью базового конструктивного элемента на основе модального разложения решений уравнений колебаний тел с распределенными параметрами. Целесообразность решения задачи синтеза вибрационного поля для детали относительно простой конфигурации обусловлена, во-первых, возможностью аналитического решения, и, во-вторых, тем, что согласно результатам работ [9, 10], у значительной части деталей

динамические свойства успешно описываются компьютерной моделью. Так, в работе [11], успешно реализован метод компьютерного моделирования высокой детализации (КМВД). Данный метод можно использовать для исследования сложных систем, который основан на применении универсального динамического элемента, с помощью которого можно создавать качественные модели, практически, любой сложности, а также раскрывать причинно-следственные связи исследуемых процессов. Разработка компьютерной модели осуществляется после постановки задачи и полного описания работы изучаемой системы.

Результатом работы является построение динамических моделей с выявлением наиболее существенных факторов и закономерностей, позволяющих прогнозировать состояния системы под действием различных факторов. Моделирование выполняется по оригинальному методу с уникальной технологией, в которой не используется пересчет дифференциальных уравнений.

Список литературы: 1. Константинов Л.С., Трухов А.П. Напряжения, деформации и трещины в отливках. – М.: Машиностроение, 1981. – 200 с. 2. Давиденков Н.Н. Об остаточных напряжениях//Заводская лаборатория, 1975. Т.4. Номер 6. С. 688-698. 3. Абрамов ВВ. Остаточные напряжения и деформации в металлах. М.: Машгиз, 1963 – 357 с. 4. Шевцов С.Н. Управление процессом вибрационной стабилизирующей обработки корпусных деталей станков. Дис. Канд. техн. наук: 43.3 – Ростов-на-Дону, 1986 – 249 с. 5. Белозеров М. А., Лебедев В. А. Предпосылки применения вибрационной стабилизирующей обработки для обеспечения макрогеометрии деталей летательных аппаратов // Технические и естественные науки: инновации и перспективы: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 января 2020г.: Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2020 С. 73-75. 6. Тамаркин М.А., Шевцов С.Н., Лебедев В.А., Пастухов Ф.А. Технология вибрационной стабилизирующей обработки изделий машиностроения. // Научно-технические технологии в машиностроении: журнал – Ростов-н/Д: ДГТУ, 2018 – С.20-26. 7. Белозеров М. А., Лебедев В. А. Предпосылки применения вибрационной стабилизирующей обработки для обеспечения макрогеометрии деталей летательных аппаратов // Технические и естественные науки: инновации и перспективы: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 января 2020г.: Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2020 С. 73-75. URL: <https://apni.ru/article/319-predposilki-primeneniya-vibratsionnoj-stabiliz> 8. Вибрация в технике. Т.1. Колебания линейных механических систем: Справочное руководство./Под ред. В. В. Болотина. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с. 9. Каминская В.В., Левина З.М., Решетов Д.Н. Станины и корпусные детали металлорежущих станков (Расчет и конструирование). – М.: Машгиз, 1960. – 363 с. 10. Николаев, А. В. Математическое моделирование: особенности динамических свойств структурных образований в составе механических колебательных систем / А. В. Николаев, А. В. Елисеев // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2018. – № 6. – С. 76-84. – EDN YTRQEH. 11. Канарейкин, А. В. Моделирование сложных динамических систем и механизмов методом компьютерного моделирования высокой детализации (КМВД) / А. В. Канарейкин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 17 (307). — С. 16-20. — URL: <https://moluch.ru/archive/307/69054/> (дата обращения: 10.08.2022).

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ТОКАРНОГО СТАНКА ТВ-16

Голубов В.О., Мироненко Н.О., Гусев В.В., Цокур В.П.

(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк)

Тел./Факс: +38 (066) 3086754; E-mail:msmo@fimm.dgtu.donetsk.ua

***Аннотация.** В статье рассмотрена модернизация станка ТВ-16. Приводы станка оснащаются шаговыми двигателями, которая позволяют управлять обработкой заготовок по управляющей программе, записанной на персональном компьютере.*

***Ключевые слова:** токарный станок, модернизация, шаговый двигатель*

1. Введение.

Успехи мехатронных подходов в автомобилестроении и космической области ознаменовали проникновение мехатронных подходов во все отрасли. Развитие микропроцессорной техники и замена механических связей связями информационными явились основными моментами в направлении развития мехатронных систем. Использование автоматического управления заданными возможностями для создания необходимых свойств всей системы позволяет существенно расширить функциональный спектр всей системы (предустановки, адаптация, самонастройка, самообучение и др.);

Важным преимуществом мехатронного подхода при проектировании и изготовлении современных установок является принципиальная замена концепции диагностики и управления агрегатом. Благодаря интеграции микроэлектроники в мехатронику, гидравлику, пневматику и электрические привода возникает принципиально новые возможности интеграции установки в общую автоматизированную систему.

Обеспечение спроса на специалистов с междисциплинарным образованием требует нового подхода и к организации учебного процесса в университетах. Задача высшей школы состоит в том, чтобы обеспечить промышленность междисциплинарно подготовленными специалистами способными разрабатывать, производить и обслуживать сложные мехатронные системы. С целью подготовки конкурентно-способных выпускников университета, при выполнении бакалаврской работы студентами направления подготовки «Мехатроника и робототехника» разрабатывают системы автоматического управления станками, которые в дальнейшем могут быть использованы в учебном процессе. Токарный станок ТВ-16 предназначен для получения навыков токарного мастерства в учебном процессе и выполнения работ средней сложности. В базовой конструкции станка ТВ16 имеются следующие недостатки: нет коробки скоростей, а переключение производится за счет ручной смены расположения ремня, а контроль скорости или шага резьбы осуществляется за счет смены шестеренок; станок не позволяет обучать навыкам программирования и работе оборудования в автоматическом режиме.

Целью работы является модернизация токарного станка модели ТВ-16 с управлением от Arduino, что позволит управлять обработкой заготовок по управляющей программе, записанной на персональном компьютере.

2. Основное содержание работы.

Модернизации в станке подвергались как приводы подачи, так и привод главного движения.

Для продольного и поперечного суппорта было предложено использовать шаговые двигатели модели STEPPERONLINE NEMA 23 на 3А (рис.1) [1]. Для передачи вращения с шагового двигателя на винт был изготовлен специальный кронштейн и специальная компенсирующая муфта, которая обеспечивала точное совпадение осей вала шагового двигателя и винта (рис.2).

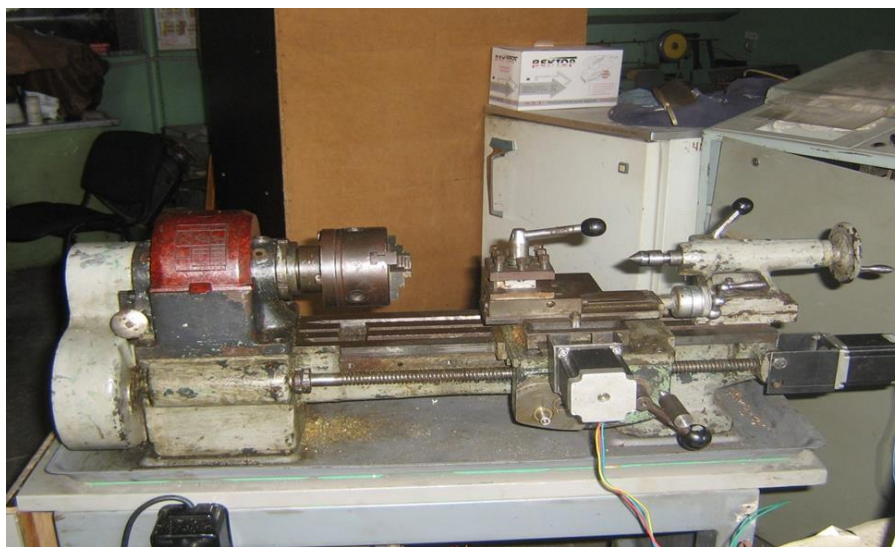


Рис. 1. Модернизация приводов подачи на станке ВТ-16Приводы подачи от шаговых двигателей

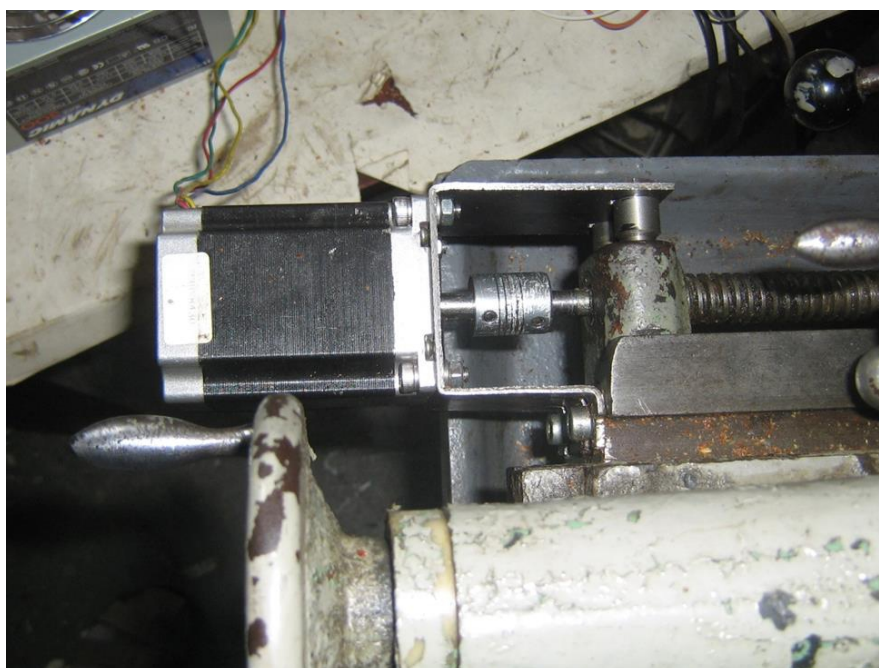


Рис.2. Соединение шагового двигателя сходовым винтом через специальную компенсирующую муфту

Для управления шаговыми двигателями использовали: блок питания, драйверы и плату Arduino. Используемая микросхема драйвера представляет собой эффективный драйвер- контроллер шагового двигателя средней мощности на микросхеме TB6600. Схема подключения драйвера шагового двигателя показана на рисунке 3, а общая коммутация шаговых двигателей с компьютером на рисунке 4. Управляющие выходы с драйвера подключены цифровым контактам на ArduinoUno. Питательное напряжение равно 5 В. Напряжение питания двигателей 10-42 В.

Драйвер биполярного шаг. двигателя с реверсом на FAN8082 (Imax<1.6A)

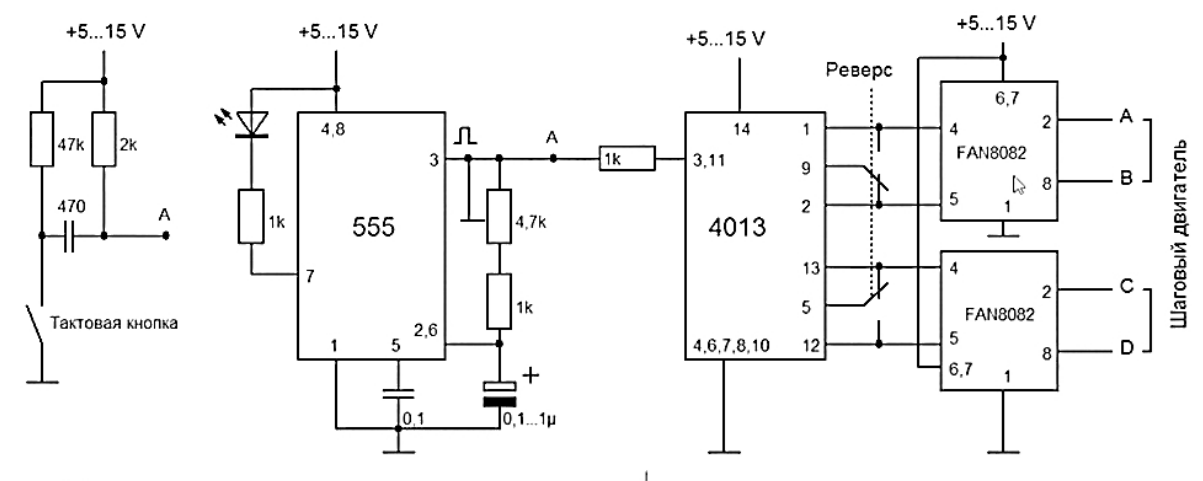


Рис.3. Схема подключения драйвера шагового двигателя

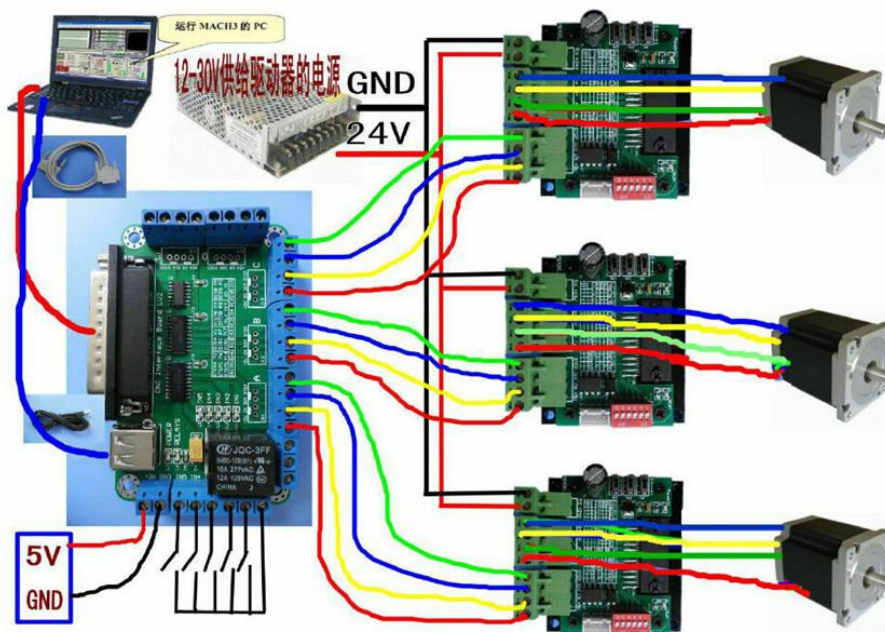


Рис.4. Коммутация шаговых двигателей с компьютером

Привод главного движения также был подвергнут модернизации путем замены асинхронного двигателя на шаговый NEMA 34 JK86H66-5904 с максимальным крутящим моментом 4,11 Н·м. Для анализа работы привода главного движения была разработана математическая модель привода главного движения с шаговым двигателем, моделирование которой в пакете Matlab Simulink позволило оценить переходной процесс в электромеханической системе привода. Результаты моделирования представлены на рис.5. Из анализа графика переходного процесса видно, что при повороте шлифовальной головки отсутствует перерегулирование. Также, можно отметить, что система достигает установившегося значения за 0,2 сек.

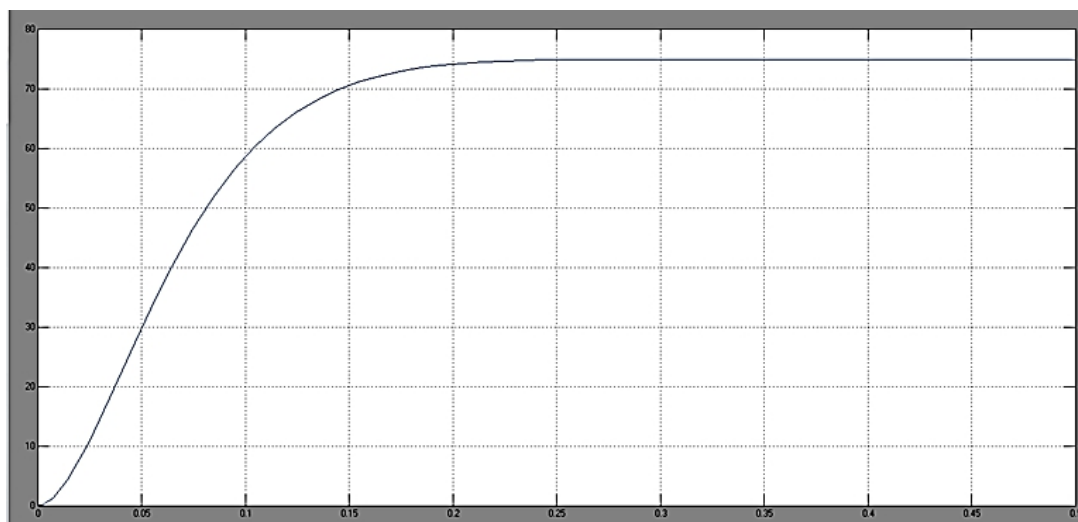


Рис.5. Переходный процесс в электромеханической системе токарного станка ТВ-16 с шаговым двигателем

Для работы станка использована специализированная программа, используемая на базе микроконтроллера ARDUINO MEGA 2560.

Готовая УП отправляется разработчиком на токарный станок, после чего оператор может запускать процесс изготовления детали. Управление станком может осуществляться через компьютер с установленной программной оболочкой, совместимой с большинством станков, например, ArtSoft Mach3.

3.Выводы. В данной работе был разработан проект по модернизации учебного станка модели ТВ-16 с возможностью управлением обработки заготовок от компьютера по управляющей программе. В приводах станка для достижения поставленной цели были использованы шаговые двигатели.

Список литературы: 1. Ивоботенко, Б. А. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Б. А Ивоботенко, В. П. Рубцов, Л. А. Садовский, В. К. Цаценкин; под общ. ред. Чиликина М. Г. – М. : Энергия, 1971. – 624 с. 2. Simscape Power Systems Examples [Электронный ресурс] // MathWorks. – Режим доступа: www.mathworks.com/help/phymod/sps/examples.html .

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ИЗ КАМНЯ

Горобец И.А., Игнатов А.Д., Горбань В.В. (каф. ТМ, ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк)

***Аннотация:** Рассмотрены вопросы показателей качества обработки поверхности заготовок из природного камня шлифованием. Исследованы параметры шероховатости поверхности от режимов обработки. Приведены ограничения при выборе параметров качества обработки и параметры целевой функции.*

***Ключевые слова:** шлифование, качество, поверхность, режим, ограничение, функция, расчёт, условие.*

Вопросы точности и качества поверхности заготовки включают ряд показателей, к которым можно отнести макро- и микронеровности. Вопросы образования шероховатости при шлифовании заготовок рассматривалась исследователями при определённых допущениях. Например, Е. Н. Маслов [1] при выводе формулы для расчёта сечений снимаемых стружек допускал, что режущие абразивные зерна следуют одно за другим, находясь на одинаковом расстоянии от оси вращения круга.

Изучая процесс резания в пространстве, П.И. Ящерицин [2] предложил новое понятие в теорию образования шлифованной поверхности. По его мнению, если спроектировать все зерна на рабочем участке круга на одну плоскость, то с некоторым приближением можно считать, что образуется режущий контур, неровности которого полностью копируются в зоне контакта круга на обрабатываемой поверхности. Чем меньше неровность режущего контура, тем он ближе подходит к сплошному режущему лезвию, тем шероховатость обработанной поверхности будет меньше. Отсюда вытекает, что шероховатость формируется режущим контуром, причём одинаковый режущий контур может быть создан различными способами.

Проф. А.А. Маталин [3] рассматривал образование шероховатости поверхности с учётом пластической деформации, геометрических факторов и вибрации в системе СПИД. Он убедительно доказывает, что под действием высоких температур металл срезаемой стружки и обрабатываемой поверхности размягчается и покрывает прорезанные риски бесформенными сгустками. Это явление в отдельных случаях может увеличить высоту шероховатости, а в других, при более сильном тепловом воздействии, уменьшить.

По мнению А. В. Якимова [4], в условиях шлифования сплошным кругом процесс формирования шероховатости поверхности зависит от свойств материала обрабатываемой детали, остроты режущих зёрен, химического средства трущихся пар, пластической деформации, адгезии и вибрации. Преобладание одного из этих факторов хотя и определяет характер шероховатости обработанной поверхности согласно существующим теориям, однако условия формирования шероховатости непрерывно изменяются во времени. Причиной служит затупление зёрен шлифовального круга даже в течение 5-15 мин работы.

При шлифовании прерывистыми кругами высота шероховатости формируется в основном режущим контуром, а при обычном шлифовании определённое влияние имеет размазывание размягчённого материала. Уменьшение высоты шероховатости поверхности нельзя считать положительным фактором, так как после шлифования

обычным кругом, как правило, на поверхности обнаруживаются прижоги и густая сетка шлифовочных трещин.

Режимы шлифования значительно влияют на высоту шероховатости. С ростом глубины резания и поперечной подачи высота шероховатости увеличивается как при обычном, так и при прерывистом шлифовании.

Требуемые значения параметров качества можно определить с помощью комплексных параметров свойств поверхностного слоя. Так, комплексный параметр свойств поверхностного слоя детали, определяющий её несущую способность (контактную жёсткость), имеет вид [5, 6]:

$$\Pi = \left(\frac{Rp^v Wp^2 Hp^2}{k} \right)^{\frac{1}{v+4}}, \quad (1)$$

где Wp, Hp – высота сглаживания соответственно волнистости и макроотношения поверхности детали; v – параметр экстраполяции начального участка кривой относительных опорных длин профиля шероховатости поверхности ($v \approx 2$ [5, 6]); k – отношение микротвёрдости поверхности после шлифования и исходной микротвёрдости поверхности.

Аналогичный параметр, определяющий трение и износ деталей, рассчитывается по формуле [7, 8]:

$$C_x = \frac{Rp^4 Hp Wp}{Sm^6 k^{12}}, \quad (2)$$

где Sm – средний шаг неровностей профиля шероховатости.

При шлифовании существуют следующие зависимости между параметрами шероховатости поверхности [5]:

$$\left. \begin{aligned} Sm &= 1 \cdot 10^{-2} (\rho Ra)^{0.5}; \\ Rp &= 2,7 Ra, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где ρ – радиус округления вершины зерна.

Подставляя уравнение (3) в (2) получим:

$$C_x \approx \frac{2 \cdot 10^{13} Rp Hp Wp}{\rho^3 k^{12}}. \quad (4)$$

Определение параметров качества поверхности по зависимостям (1) и (4) осложняется тем обстоятельством, что выбранные значения параметров качества поверхности должны быть одновременно сформированы на обрабатываемой поверхности по завершению процесса шлифования. Аналитическое решение названной проблемы возможно, если большему значению любого из параметров качества поверхности (в данном случае - Rp, Wp, Hp, k^{-1}) соответствуют большие значения других рассматриваемых параметров качества. Так, анализ результатов исследований [5]

показывает, что, например, при большой производительности процесса шлифования получаются большие значения R_p, W_p, H_p, k^{-1} и наоборот. Следовательно, такое соответствие между параметрами качества шлифованной поверхности существует в реальных условиях. Тогда для выбора требуемой совокупности значений параметров качества необходимо задаться некоторой функцией, которая должна учитывать возможности процесса шлифования по обеспечению параметров качества поверхности. И при подстановке в данную функцию искомым параметров качества должен наблюдаться её экстремум (максимум или минимум). Этим условиям отвечает функция вида

$$Z = \frac{R_1}{R_{1\max} + R_{1\min}} \gamma_1 + \frac{R_2}{R_{2\max} + R_{2\min}} \gamma_2 + \dots + \frac{R_n}{R_{n\max} + R_{n\min}} \gamma_n, \quad (5)$$

где R_i – рассматриваемый параметр качества поверхности или обратная этому параметру величина ($i = \overline{1, n}$); n – число искомым параметров качества поверхности; $R_{i\max}$, $R_{i\min}$ – максимальное и минимальное значения i -го параметра качества из соответствующего диапазона его изменений, обусловленного, например, вариацией производительности процесса шлифования (данные значения могут быть определены экспериментально для конкретных производственных условий, рассчитаны по приведенным аналитическим зависимостям или получены из справочных данных [7]); $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – коэффициенты, учитывающие различную степень влияния параметров R_1, R_2, \dots, R_n на комплексный параметр свойств поверхностного слоя детали.

В качестве ограничения при выборе параметров качества поверхности должны использоваться уравнения (1) и (4) или подобные им зависимости, которые могут быть представлены в виде:

$$T = (R_1)^{a_1} (R_2)^{a_2} \times \dots \times (R_n)^{a_n}, \quad (6)$$

где T – некоторая величина, которую необходимо обеспечить в ходе шлифования; a_1, a_2, \dots, a_n – показатели степеней величин R_1, R_2, \dots, R_n .

Для упрощения дальнейших математических преобразований запишем уравнение (6) несколько иначе

$$\ln T = a_1 \ln R_1 + a_2 \ln R_2 + \dots + a_n \ln R_n. \quad (7)$$

Таким образом, имеется целевая функция $Z = f(R_1, R_2, \dots, R_n)$ и единственное ограничение (7). Требуется найти совокупность значений R_1, R_2, \dots, R_n , при которой будет наблюдаться экстремум целевой функции. Для решения этой задачи воспользуемся методом множителей Лагранжа.

Функция Лагранжа применительно к данной задаче будет иметь вид:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n R_i / (R_{i\min} + R_{i\max}) * \gamma_i + \lambda [\ln T - a_1 \ln R_2 - \dots - a_n \ln R_n] \quad (8)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Зависимости для расчёта величин R_1, R_2, \dots, R_n получим из уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial R_1} &= \frac{\gamma_1}{R_{1\min} + R_{1\max}} - \lambda a_1 \frac{1}{R_1} = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial R_2} &= \frac{\gamma_2}{R_{2\min} + R_{2\max}} - \lambda a_2 \frac{1}{R_2} = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial R_n} &= \frac{\gamma_n}{R_{n\min} + R_{n\max}} - \lambda a_n \frac{1}{R_n} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Откуда

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \lambda a_1 (R_{1\min} + R_{1\max}) / \gamma_1; \\ R_2 &= \lambda a_2 (R_{2\min} + R_{2\max}) / \gamma_2; \\ &\vdots \\ R_n &= \lambda a_n (R_{n\min} + R_{n\max}) / \gamma_n \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Решая совместно уравнения и получим выражение λ :

$$\lambda = \left[\frac{T}{\left(\frac{a_1 [R_{1\min} + R_{1\max}]}{\gamma_1} \right)^{a_1} \left(\frac{a_2 [R_{2\min} + R_{2\max}]}{\gamma_2} \right)^{a_2} \times \dots \times \left(\frac{a_n [R_{n\min} + R_{n\max}]}{\gamma_n} \right)^{a_n}} \right]^b; \quad (11)$$

$$b = (a_1 + a_2 + \dots + a_n)^{-1}.$$

Выводы.

Таким образом, определив величину λ , по уравнениям (11) можно рассчитать искомые значения параметров качества шлифуемой поверхности. С целью учёта конкретных производственных условий и при необходимости, полученные значения параметров могут быть скорректированы.

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М., «Машиностроение», 1974г. – 320с. 2. Ящерицин П.И. Повышение эксплуатационных свойств шлифованных поверхностей. Минск, «Наука и техника», 1966г. – 384с. 3. Маталин А.А. Качество поверхности и Эксплуатационные свойства машин. М. – Л., Машгиз, 1956г. – 252с. 4. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М., «Машиностроение», 1975г. – 176с., ил. 5. Бишутин С.Г. Обеспечение требуемой совокупности параметров качества поверхностных слоев деталей при шлифовании: Монография.-М., Машиностроение – 1, 2004г. – 144с., ил. 6. Бишутин С.Г. Прогнозирование состояния поверхностного слоя шлифовальных деталей// Справочник. Инженерный журнал. – 2002г. - №8. – с.59-61. 7. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Раб А.Ф., Узунян М.С. Основы алмазного шлифования. Киев, «Техника», 1978г. – 192с. 8. Качество машин: Справ.: В 2 т./ А.Г. Сулов, Ю.В. Браун, Н.А. Виткевич и др. - М.: Машиностроение, 1995г. – Т.1. – 256с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СТРУКТУР МЕХАНИЗМОВ 3D ПРИНТЕРОВ

Горобец И.А., Киселица Д.О., Жарких Д.С.

(каф. ТМ, ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк)

***Аннотация:** Рассмотрены вопросы классификации параллельных структур механизмов 3D-печати. Исследованы параметры механизмов параллельных структур. Даны рекомендации применения вариантов параллельных структур при синтезе конструкции принтеров аддитивных технологий.*

***Ключевые слова:** принтер, технологии, структура, параметры, классификация.*

В настоящее время, 3D-печатные технологии широко используются в архитектуре, строительстве, промышленном дизайне, автомобильной, аэрокосмической, военно-промышленной, медицинской отраслях, биоинженерии, лёгкой и пищевой промышленности. Перспективными идеи использования аддитивных технологий являются и в машиностроении, что позволит значительно уменьшить производственные площади, парк классического и массивного технологического оборудования, объёмы потребляемой электрической энергии и численность работающего персонала в производстве [1-3]. Известные конструкции механической части, 3D-принтеров используют принципы классических и параллельных структур [4]. Наиболее перспективными с точки зрения точности позиционирования, кинематических и динамических параметров, производительности, на наш взгляд, являются параллельные структуры конструкции 3D-принтеров. На сегодняшний день различают следующие виды параллельных структур: планарные, пространственные, избыточные, шарнирные фермы, проводные роботы и микроэлектромеханические системы (рис. 1).



Рис. 1. Классификация параллельных структур

Особенностями видов параллельных структур являются:

- **Планарные.** Особенность движения состоит в выполнении движений. траектория в одной плоскости. Планарные системы могут быть с двумя или с тремя степенями свободы. Увеличение степеней свободы переводит такие системы в пространственные. Возможные варианты реализации плоских параллельных структур с двумя степенями свободы приведены на рис. 2. Активные вращающиеся шарниры представлены белыми кругами, пассивные – черными. Кинематическая цепь плоской структуры с тремя степенями свободы может описываться последовательностью трёх шарниров, расположенных от основания к верхней платформе. Цепи могут находиться в

последовательностях: RRR, RPR, RRP, RPP, PRR, PPR, PRP, PPP. Последовательность PPP исключается, поскольку движение шарниров должно оставаться независимым.

- **Пространственные параллельные структуры.** Классифицируются в соответствии с количеством степеней свободы. Различают структуры с тремя (перемещающие, ориентационные, с переменными степенями свободы), четырьмя, пятью и шестью (UPS-, PUS-топологией, с переменными звеньями, трёхногие, разделённые) степенями свободы. Возможные варианты реализации схем конструкций пространственных параллельных структур приведены в таблице 1.

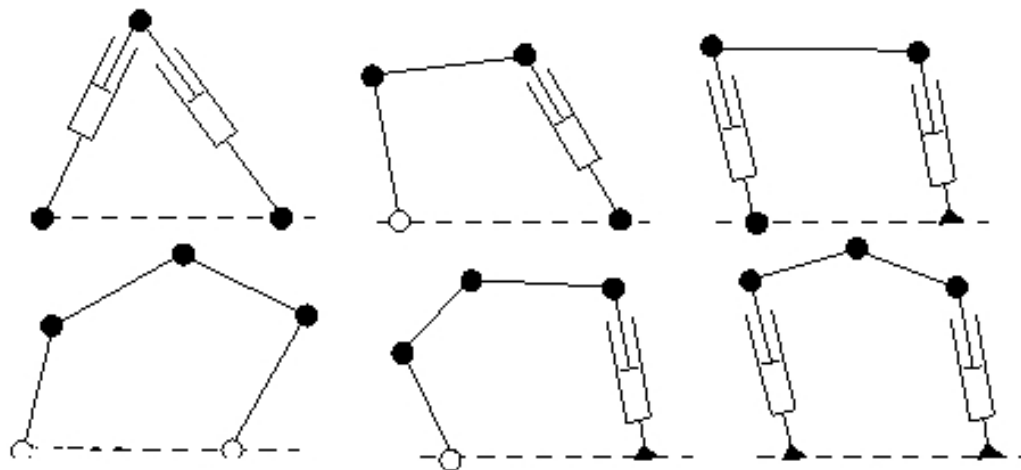


Рис. 2. Плоские структуры с двумя степенями свободы

- **Пространственные параллельные структуры.** Классифицируются в соответствии с количеством степеней свободы. Различают структуры с тремя (перемещающие, ориентационные, с переменными степенями свободы), четырьмя, пятью и шестью (UPS-, PUS-топологией, с переменными звеньями, трёхногие, разделённые) степенями свободы. Возможные варианты реализации схем конструкций пространственных параллельных структур приведены в таблице 1.

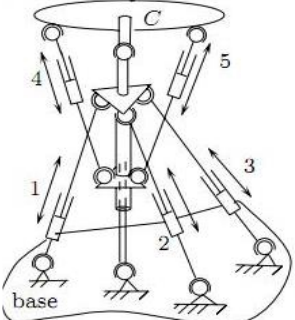
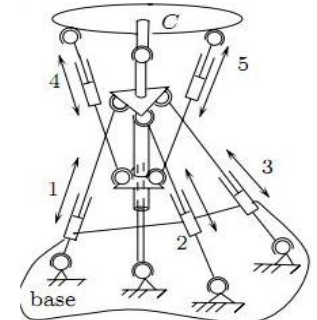
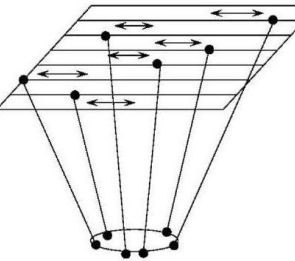
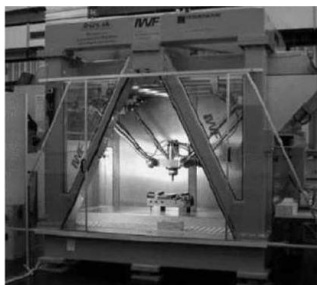

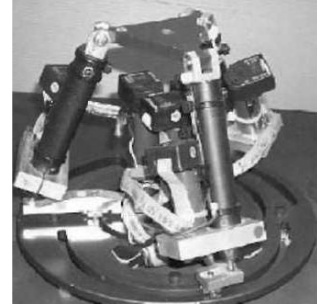
- **Избыточные структуры.** Избыточность параллельных структур позволяет решать важные и сложные вопросы, например, как предотвращение появления сингулярностей или решение проблемы прямой кинематики. Избыточность может быть использована при проектировании отказоустойчивых параллельных структур [5].

- **Шарнирные фермы.** Такие конструкции являются примером чрезвычайно избыточных параллельных структур. Состав шарнирной фермы представляет собой последовательно соединённые группы механизмов параллельных структур. Примером является робот LX4 (компания Logabex), на рис. 3. Этот тип манипулятора интересен тем, что его рабочее пространство очень большое, и отношение полезная нагрузка/масса имеет высокий показатель (масса LX4 составляет 120 кг, а масса транспортабельного груза 75 кг). Недостатком такой структуры является сложность системы управления.

- **Микроэлектромеханические системы (MEMS).** С помощью таких систем реализуются устройства с высокой жёсткостью и точностью. Пример - платформа Gough (Portman) [6]. Движения в этом устройстве реализуются небольшими изменениями длин ног из-за деформации полого цилиндра гидравлическим давлением (рис. 4).

Таблица 1 – Классификация пространственных структур механизмов

Ст. св.	Дополнительные признаки	Кинематическая структура	Оси	Особенности	Применение	Пример	Рисунок
1	2	3	4	5	6	7	8
3	Перемещающие		Y, X, Z	Все кинематические цепи этого робота имеют тип $rrrr$	Операции механической обработки и перегрузки	DELTA – FLEX-PICKER IRB 340	
	Ориентационные		U, V, W	Цепи позволяют выполнять три вращения вокруг одной точки	Системы наблюдения	AGILE EYE	
	С переменными степенями свободы		Y, U, V	Принцип построения определяется в основном типами используемых шарниров	Балансирование рычага космического корабля и микроманипулятор	ARTISAN	
4	-		Y, U, V, W	Структура механизма с пассивной системой ограничения	Пилотажный тренажер	KOEVER-MANS	

5	-		Y, X, Z, U, W	Пассивная опора создаёт высокие показатели жёсткости, но уменьшает рабочее пространство	Машиностроение, 5-координатная обработка	AUSTAD	
	С риз-структурой		Y, X, Z, U, V, W	Направления движения приводов не имеют значения: наклонные, горизонтальные, вертикальные	Металлорежущие станки	HEXAGLIDE	
	Трехногие		Y, X, Z, U, V, W	Уменьшен риск столкновения ног, увеличен размер рабочего пространства, но уменьшена жёсткость и увеличена ошибка позиционирования	Быстро позиционирующие устройства	RRPS-робот	

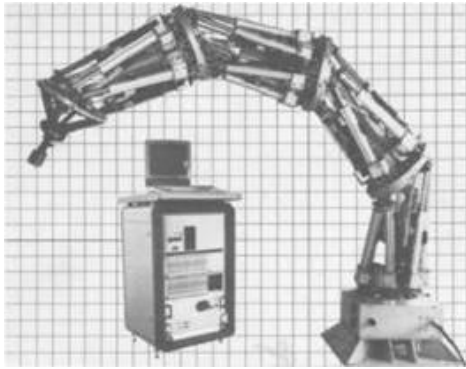


Рис. 3. Вид робота LX4

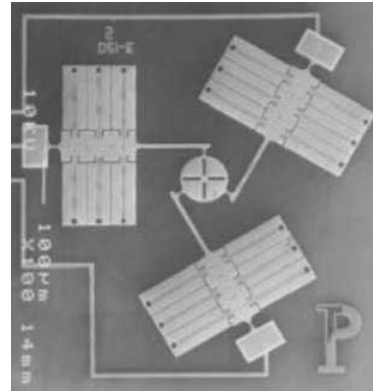


Рис. 4. Плоский механизм 3-RRR

▪ механизмы с гибкой структурой звеньев. Замена твёрдых связей проводами или тросами (которые могут быть намотаны или размотаны) в механизмах, имеет следующие преимущества:

- большее рабочее пространство, поскольку провода учитывают большие изменения в длинах звеньев и упрощают управление;
- меньшая мобильная масса, а значит высокая динамика;
- низкое взаимодействие с пользователем, которое может быть полезным для тактильных устройств.

Но наличие гибких структур налагают ограничение в механизме: они могут растягиваться, но не могут сжиматься. Такое ограничение играет важную роль в вычислении многих действий механизма.

Использование такого устройства – задачи, требующие высокую скорость: ультрабыстрая сборка или 3D-печать.

Выводы. Таким образом, зная особенности классификации, параметры, характеристики структур механизмов можно корректировать синтез конструкции механических устройств для реализации аддитивных технологий.

Список литературы: 1. Сферы применений аддитивных технологий [Электронный ресурс] - М.: Изд. Эра 3D,- 2017. — Режим доступа: <https://era-3d.ru/baza-znaniy/poleznaya-informatsiya/sfery-primeneniya-additivnykh-tehnologii>. 2. Суть и преимущества аддитивных технологий и производства [Электронный ресурс] - М.: 2016. — Режим доступа: <https://top3dshop.ru/wiki/additive-technologies.html> 3. Горобец, И.А. Методы и применимость аддитивных технологий в машиностроении / И.А.Горобец, Н.В.Голубов, А.М.Лахин, Д.О.Киселица, Д.С.Жарких /ИНЖЕНЕР: студенческий научно-технический журнал. – Донецк, ДонНТУ, 2021. - № 2(31). С. 43-49 4. Горобец, И.А. Исследование структурных схем конструкций 3D-принтера / И.А.Горобец, А.М.Лахин, Д.О.Киселица, Д.С.Жарких / Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XXIX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-18 сентября 2022 г. – Донецк: ГОУВПО ДОННТУ, 2022. – С. 81-85. 5. Notash,L. On the design of fault tolerant parallel manipulators. Mechanism and Machine Theory / L.Notash, L.Huang - 2003, - Vol. 38(1), S.85–101 6. Portman,V.T. Rigid 6x6 parallel platform for precision 3D micromanipulation: theory and design application./ V.T.Portman., V.Z/Sandler, E.Zahavi - IEEE Trans. on Robotics and Automation, 2000, -VOL.16(6), S.629–643

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Лахин А.М. Глущенко Д.А.

(каф.ТМ, ГОУ ВПО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР)
Тел./факс: +38(062)3010805; E-mail: lelax@mail.ru

***Аннотация.** В данной статье предложена компоновка 5-ти осевого станка с ЧПУ и ее использование при обработке конических зубчатых колес с криволинейным зубом.*

***Ключевые слова:** зубчатое колесо, технология, качество, производительность.*

1. Введение.

В промышленности широко применяются конические зубчатые передачи, которые являются практически безальтернативными при необходимости передачи крутящегося момента между пересекающимися и скрещивающимися осями валов. При этом данные зубчатые передачи имеют большое многообразие конструктивных исполнений, которые требуют конических зубчатых колес с прямым, косым, криволинейным и спироидным зубом.

Современные специализированные станки для нарезания конических зубчатых колес имеют ограниченную область применения и требуют сложной наладки для нарезания каждого типа зубчатых колес. Кроме того, при изменении количества и параметров нарезаемых зубьев требуется значительное изменение гитары деления что подразумевает необходимость наличия большого количества сменных шестерен для настройки цепи деления зуборезного станка. При этом для нарезания криволинейных зубьев конических колес по прежнему используется метод копирования, требующий наличия широкого ассортимента зуборезного инструмента для формирования требуемого профиля зуба.

Современный этап развития электроники и микропроцессорной техники позволяет создавать универсальные, относительно недорогостоящие системы ЧПУ [3], в основе которых управление позиционированием инструмента и заготовки для заданных технологических целей.

Целью данной работы является создание компоновочной схемы 5ти координатного станка с ЧПУ для нарезания зубьев конических зубчатых колес.

Для достижения заданной схемы необходимо решить следующие задачи: выбрать количество и направления управляемых осей станка, разработать компоновочную схему и определить область применения данного оборудования.

2. Основная часть.

Несмотря на широкую тенденцию применения аддитивных технологий во всех областях промышленности, определенная часть изделий все же безальтернативно требует применения механической обработки для достижения заданной точности размеров и физико-механических свойств материала детали. Такими деталями являются силовые зубчатые колеса, в частности конические, требующие высокой точности параметров зубьев, низкой шероховатости и прочности материала. Однако сложность формы и направления зубьев таких колес требует применения сложных траекторий движения инструмента при наличие 3-4 осевого его перемещения. Обработка таких зубчатых колес на стандартном зуборезном оборудовании значительно затруднена.

Применение современных систем управления шаговыми двигателями [1] раскрывает широкие возможности создания нового оборудования для изготовления изделий любой сложности.

Обработка зубьев конических зубчатых колес с криволинейным зубом может быть выполнена только вращающимся режущим инструментом, в частности чашечной или пальцевой фрезой. При этом способ обработки чашечной фрезой требует строго соответствия диаметра фрезы радиусу изгиба зуба и не может быть применим для обработки зубьев с изменяющейся кривизной направления зуба. Этому недостатка лишена обработка пальцевой модульной фрезой, при обработке которой возможно получение зубьев любого направления, а применения пальцевой фрезы выполненной по форме нормального исходного контура дает возможность получать зубья конических колес методом обкатки, обеспечивая тем самым форму зуба наиболее близкую к теоретической.

Рассмотрим движения требуемые для нарезания криволинейных зубьев конических зубчатых колес (рис.1). Главным движением резания является вращение фрезы D_v которое сообщается шпинделем привода главного движения. Движением подачи является перемещение инструмента вдоль направления линии зуба, которое, ввиду сложной криволинейной формы зуба, может быть образовано двумя движениями каретки шпинделя D_{Sx} и D_{Sy} . Также для обработки зуба по всей длине на полную глубину впадины, требуется проворот заготовки относительно ее оси D_{Rz} . Также при обработке требуется вертикальная (радиальная) подача D_{Sz} в начале каждого прохода, для заглабления инструмента и последовательного формообразованию зуба на полную глубину. После обработки единичного зуба требуется поворот заготовки на угол $360/Z$ для обработки следующего зуба D_{Rz}' . Кроме перечисленных движений также требуется дополнительное настроечное движение для поворота заготовки относительно ее поперечной оси в соответствии с углом формообразующего конуса.

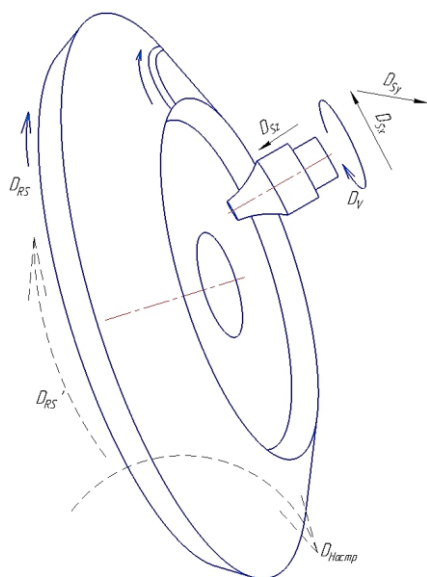


Рис.1. Совокупность движений при нарезании зубьев конического зубчатого колеса с криволинейным зубом

Компоновка станка для обработки конических зубчатых колес любых типов представлена на рис.2. В данной компоновке на основании 1 смонтированы линейные направляющие, по которым перемещается каретка продольного перемещения 2 (ось Y). Между стенкой каретки продольного перемещения установлены цилиндрические штанги-направляющие по которым с помощью линейных подшипников перемещается каретка поперечного перемещения 3 (ось X). К ней в свою очередь также на цилиндрических штангах и линейных подшипниках присоединена каретка вертикального перемещения 4 (ось Z). На каретке вертикального перемещения с помощью кронштейна присоединен привод шпинделя инструмента 5, в который с помощью цангового зажима закрепляется пальцевая модульная фреза.

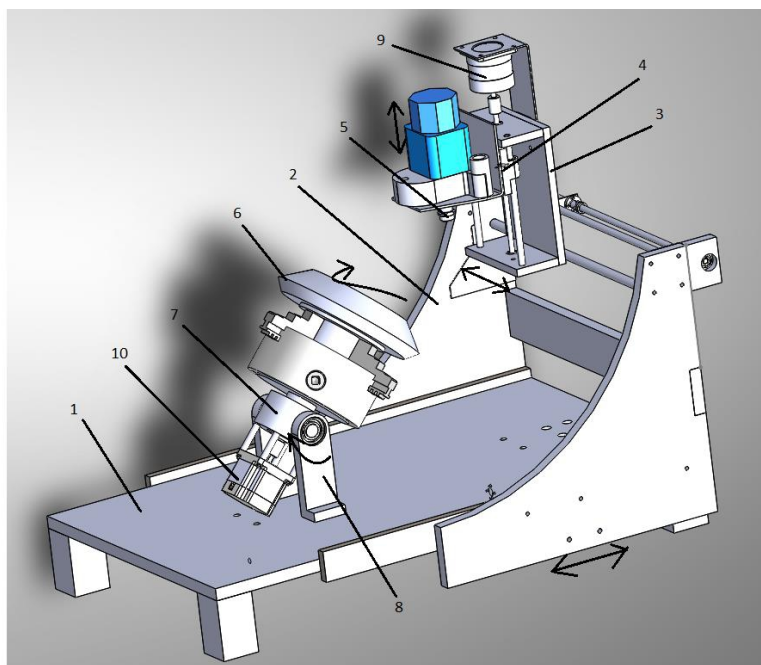


Рис. 2. Компоновка станка с ЧПУ для обработки зубьев конических зубчатых колес

На основании станка закреплены стойки 8 с подшипниковыми опорами. На данных стойках установлена поворотная оправка 7 с устройством фиксации ее положения (на рисунке не показано). Внутри поворотной оправки установлена ось, один конец которой посредством муфты соединен с шаговым двигателем 10 поворота заготовки, а на другом конце установлен патрон в котором закрепляется заготовка 6. Для перемещения привода шпинделя главного движения 5 по всем трем осям служат передачи винт-гайка, винт которой соединен с отдельным шаговым двигателем 9 для перемещения по каждой оси.

3. Выводы.

Таким образом данная компоновочная схема обеспечивает весь комплекс перемещений требуемых для формообразования любых типов конических зубчатых колес. Управление шаговыми двигателями может осуществляется, например, с помощью контролера ТВ 6560 с возможностью управления до 5 шаговых двигателей и выводом на него управляющей программы непосредственно из персонального компьютера с помощью программы MACH 3.

Список литературы: 1. Звонцов И. Ф., Иванов К. М., Серебrenицкий П. П. Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 588 с.: ил. 2. Калачев, О.Н. Моделирование CAD/CAM Simatрон механообработки на станках с ЧПУ/ Ярославский государственный технический университет. – Ярославль: 2013. – 30 с. 3. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, В.А. Шкаберин. – 2-е изд., стер. – М. : ФЛИНТА, 2014. – 355 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗНОСА СТРУКТУРЫ
ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД**

Михайлов Д.А., Михайлов А.Н., Шейко Е.А., Куликович Н.Д., Антонюк Д.Н.

(кафедра МД, кафедра ТМ, АГЗ МЧС ДНР, ДонНТУ, ДНР, РФ)

Тел.: +7 949 3060879; E-mail: mntk21@mail.ru

Аннотация. В представленной статье приведены данные по исследованию особенностей износа структурных элементов лопаток компрессора авиационных газотурбинных двигателей. В работе установлено, что износ структурных элементов происходит неравномерно по иерархической структуре элементов авиационного двигателя. Представлены особенности износа лопаток компрессора вертолетного двигателя серии ТВ3-117.

Ключевые слова: структура, газотурбинный двигатель, износ, неравномерности.

Газотурбинные двигатели (ГТД) широко используются в различных летательных аппаратах и имеют высокие эксплуатационные свойства [1, 2]. При этом можно отметить, что в наиболее сложных условиях работают вертолетные ГТД [3]. Это обусловлено особенностями их эксплуатации, дополнительной структурой подсистем и повышенной концентрацией пыли, песка и других абразивных материалов.

Следует отметить, что структура вертолетного ГТД имеет следующие основные подсистемы [3, 4]: входное устройство, компрессор, камера сгорания, турбина, свободная турбина, выпускной канал и другое. При этом подсистемы ГТД структурируются группами различных видов лопаток и других элементов (рис. 1). Причем вертолетный

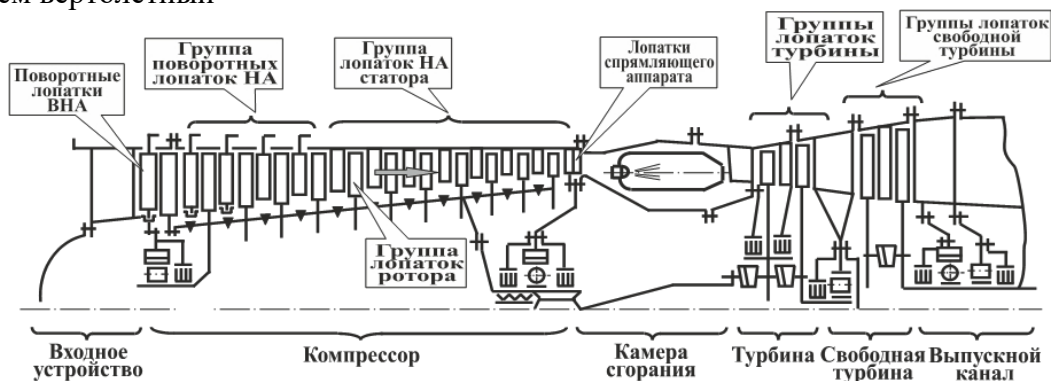


Рис. 1. Структурная схема элементов и подсистем вертолетного ГТД

ГТД можно представить следующими иерархическими уровнями (рис. 2):

1. Газотурбинный двигатель (ГТД).
2. Подсистемы.
3. Группы деталей (лопатки).
4. Детали группы.
5. Элементы детали.
6. Зоны элементов детали.
-
- R. Макро-, микро- и нанозоны.

Эти исследования показали, что на структуру ГТД действуют неравномерные, неравные, неодинаковые, изменяющиеся эксплуатационные воздействия (ЭВ). Под действием ЭВ возникает неравномерный, неравный, неодинаковый, изменяющийся износ



Рис. 2. Гипотетическая схема особенностей эксплуатации структурных элементов ГТД

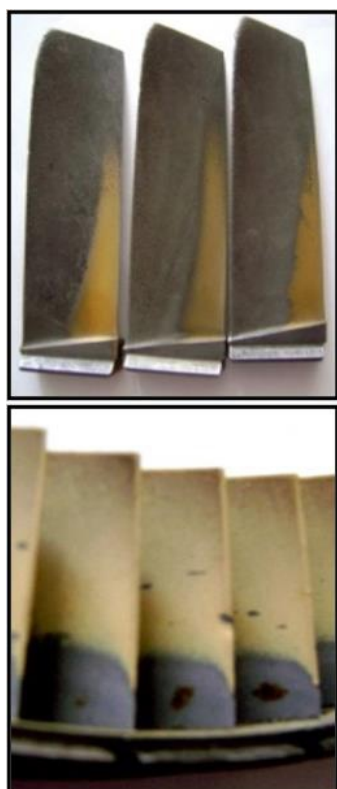


Рис. 3. Особенности износа лопаток компрессора: а - лопатки ротора, б – лопатки статора

элементов структуры вертолетных ГТД. На рис. 2 представлена гипотетическая схема особенностей эксплуатации структурных элементов ГТД, которая показывает причину и следствие возникающих проблем эксплуатации.

Выполненный анализ особенностей износа различных групп лопаток компрессора вертолетного газотурбинного двигателя модели ТВ3-117 показал (рис. 3), что износ лопаток происходит неравномерно, как для лопаток ротора (рис. 3, а), так и лопаток статора (рис. 3, б). При этом установлено, что предельный износ преобладает у периферии лопаток на пересечении периферийной и входной кромки пера. На рис. 3 представлены особенности износа лопаток компрессора: рис. 3, а - лопатки ротора, рис. 3, б – лопатки статора. Можно отметить, что абразивно-эрозионный износ лопаток компрессора имеют свои определенные особенности, обусловленные следующим: пространственной геометрией лопаток, пространственным расположением каждой лопатки в компрессоре, кинематикой движения лопатки, особенностями движения потока среды по тракту двигателя, концентрацией пыли абразива и других частиц в потоке среды. При этом наблюдается неравномерность износа поверхностного слоя пера лопатки, неравномерность износа лопаток в группе, неравномерность износа групп лопаток относительно

друг друга. Износ поверхностного слоя каждой лопатки можно характеризовать пространственным контуром границ (ПКГ) износа, который со временем изменяется [4] и имеет свои геометрические параметры для каждой группы лопаток.

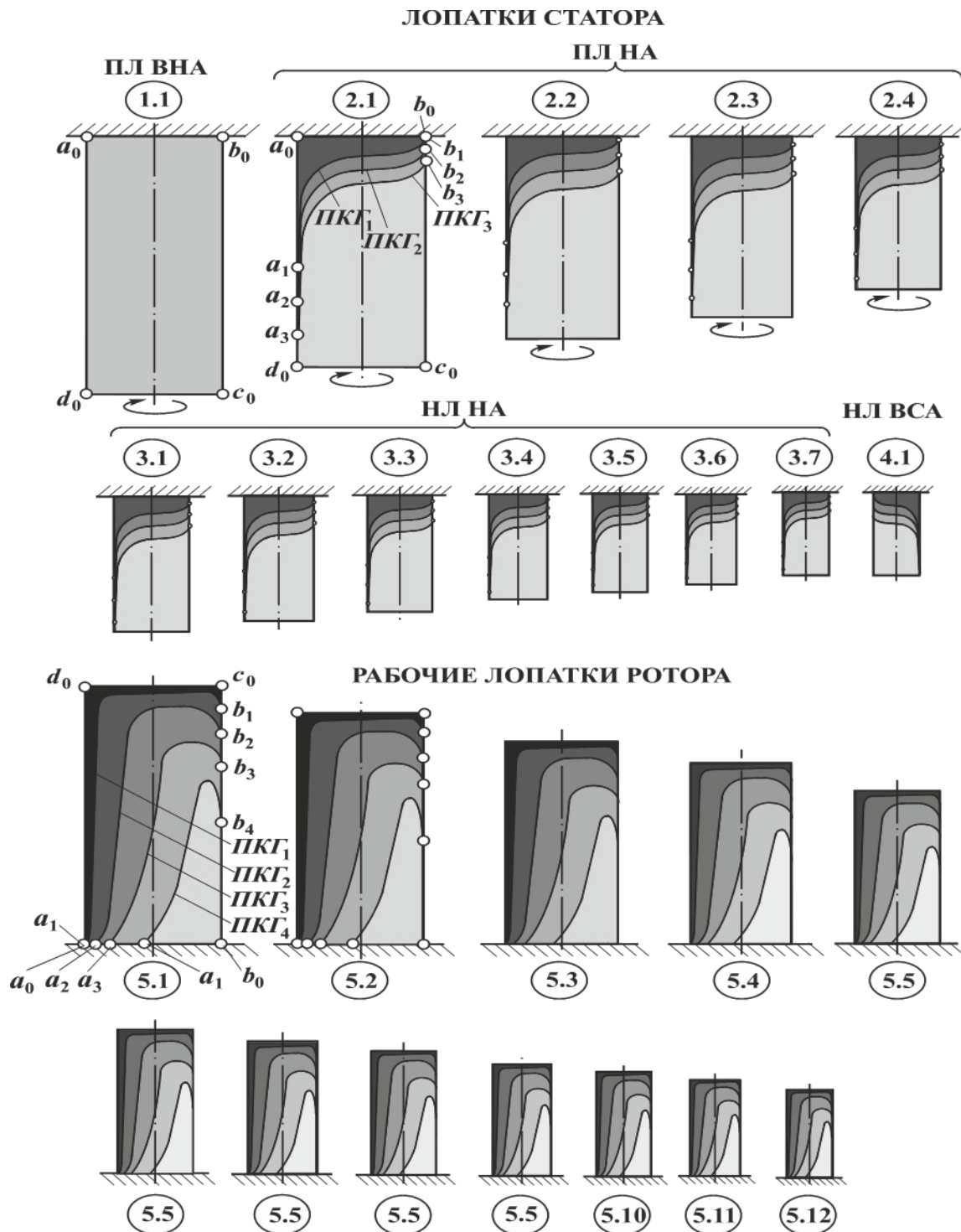


Рис. 4. Схема износа пера лопаток компрессора для лопаток статора (верхняя часть рисунка) и ротора (нижняя часть рисунка)

На рис. 4 показана схема износа пера лопаток компрессора для лопаток статора (верхняя часть рисунка) и ротора (нижняя часть рисунка). Для лопаток статора показано: поворотные лопатки входного направляющего аппарата (ПЛ ВНА), поворотные лопатки направляющего аппарата (ПЛ НА), неподвижные лопатки направляющего аппарата (НЛ НА), неподвижные лопатки выходного спрямляющего аппарата (НЛ ВСА). Здесь, также показаны особенности износа лопаток статора через равные промежутки времени, которые характеризуются возникновением пространственного контура границ (ПКГ) износа лопатки. Лопатки ротора также имеют свои определенные особенности износа, которые также характеризуются ПКГ износа пера лопатки.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что износ элементов и подсистем ГТД происходит неравномерно, как по элементам, так и по подсистемам. Поэтому в целом, износ структуры ГТД обусловлен неравномерностями износа R -родов [4]:

- неравномерностями износа структуры 1-го рода,
- неравномерностями износа структуры 2-го рода,
-
- неравномерностями износа структуры R -го рода.

Приведенные выше неравномерности приводят к неполному использованию элементов и подсистем структуры ГТД, снижению ремонтпригодности его структуры и снижению технико-экономических показателей авиационных двигателей.

3. Выводы.

Выполненный анализ методов повышения эксплуатационных свойств ГТД показал, что в условиях действия неравномерностей износа структуры R -родов наиболее целесообразно обеспечение функционально-ориентированных свойств структуры (ФОС) [5, 6], выполняемых, например, на базе функционально-ориентированных покрытий (ФОП) [6]. Однако для решения этих вопросов и обеспечения ФОС структуры ГТД необходима разработка необходимого технологического обеспечения.

Список литературы: 1. Богуслаев, В. А. Технология производства авиационных двигателей: ч. II. Основы проектирования технологических процессов изготовления деталей авиационных двигателей и технологическая подготовка производства. / В. А. Богуслаев [и др.]. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2007. – 557 с. 2. Демин, Ф. И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев. – М.: Машиностроение, 2002. – 328 с. 3. Григорьев, В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели. / В. А. Григорьев, В. А. Зрелов, Ю. М. Игнаткин и [др.]. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с. 4. Михайлов, Д. А. Основные особенности эксплуатации лопаток компрессора ГТД и классификация их эксплуатационных функций / Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2015. - Вып. 4 (50). - С. 126 - 131. 5. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения : монография / А. Н. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 346 с. 6. Михайлов, А. Н. Технологические особенности повышения ресурса деталей газотурбинных двигателей на основе обеспечения функционально-ориентированных свойств / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов // Инновации в машиностроении: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: НГТУ, 2021. - С. 76 – 83.

ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ И ОБРАБОТКИ БЛОЧНОГО КАМНЯ ИЗ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Поветкин В.В.¹, Букаева А.З.², Нурмуханова А.З.¹, Керимжанова М.Ф.³

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы,

²Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, ³Казахский национальный технический университет имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан)

Тел. 8 (727) 221-15-43; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru

Аннотация: В статье выполнен анализ современного состояния развития добычи и обработки природного камня из гранитов с применением огнеструйных термоинструментов. Рассмотрены процессы добычи и обработки блочного камня из крепких горных пород и этапы развития конструкций огнеструйных термоинструментов для разрушения горных пород при добыче и обработке блочного камня из крепких горных пород по патентным материалам. Разработана новая конструкция термоинструментов с высокими термодинамическими параметрами, за счет организации горения топливных компонентов в скачках уплотнения в сверхзвуковом потоке газовой струи горелки.

Ключевые слова: термоинструмент, горная порода, детонационное горение, топливные компоненты (бензин, керосин, воздух).

Природный камень – древнейший строительный материал, используемый человечеством на протяжении всей истории существования цивилизации. Из глубокой древности дошли до нас египетские пирамиды, индийские и греческие храмы, дворцы Европы и Азии.

Республика Казахстан располагает крупными запасами строительного камня крепких горных пород, пригодного для производства облицовочных и промышленных изделий. Значительные запасы этих пород в Восточном, Центральном и Южном Казахстане представлены гранитами разнообразного состава и различных расцветок. К ним относятся уже разрабатываемые уникальной голубовато-зеленоватой окраски амазонитовые граниты месторождения Майкуль, красные граниты Курдайского и Акбакайского месторождений, гранодиориты месторождения Кайракты, граниты месторождений Курты, Арасан-Капал, Алатагыл, Желтау и другие [1,2].

Требования промышленности к физико-механическим свойствам и блочности пород определяются ГОСТ 6666-81 «Камни бортовые из горных пород», ГОСТ 9479-98 «Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий», ГОСТ 9479-2011 «Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий».

Сопоставительный анализ добычи и переработки природного камня в мире и в Казахстане показывает, что, несмотря на большие запасы и разнообразие природного камня в нашей стране, огромный рынок сбыта камнепродукции, эта отрасль сильно уступает мировому уровню. Ряд стран наращивает объемы добычи и поставок камня разных видов и качества, особенно высококачественных изделий, тогда как

отечественная камнепродукция в своем большинстве неконкурентоспособна на мировом рынке.

Техническое оснащение и производственные технологии карьеров и камнеобрабатывающих предприятий, сформированные еще при централизованной плановой экономике, ненаучно и неэффективны в современных условиях рыночных отношений. Все это обуславливает актуальность для отечественного камнепроизводства инновационной деятельности [3].

Увеличение объемов добычи и обработки камня было достигнуто путем широкого внедрения прогрессивного термического (огнеструйного) способа разрушения, коренным образом отличающегося от всех известных способов разрушения, как по характеру физического воздействия, так и по технологической схеме.

Способ заключается в том, что на породу воздействует сверхзвуковой высокотемпературный газовый поток, в результате чего в ней возникают термические напряжения, приводящие к разрушению поверхностного слоя, положительное явление которого используется при поверхностной обработке блочного камня [4].

Разработке принципов расчета и проектирования термоинструментов для бурения и обработки блочного камня из крепких горных пород посвящены работы ученых А.В.Бричкина, М.И.Великого, И.П.Голдаева, А.П.Дмитриева, Е.П.Полевичека, И.П.Попова, А.Н.Москалева, А.А.Галяса, А.В.Моторненко, А.В.Ягупова, А.В.Болотова, Б.Р.Ракишева, Ю.Н.Бабина, А.Н.Генбача, В.В.Поветкина и др. В этих работах заложены основы теории реактивных горелок для термического бурения, обработки и резки горных пород, предложены методики их расчета и выбора конструктивных параметров.

Огнеструйный способ разрушения обеспечивает резание и обработку горных пород на современном уровне с высокими скоростями. Так, производительность резания кислородно-керосиновыми термоинструментами достигает $1,3 \text{ м}^2$ площади реза в час, а бензовоздушной – $0,8 \text{ м}^2/\text{ч}$ [5].

Разнообразные инструменты, применяемые при ударной и термической обработке камня, могут быть разделены по принципу действия на три основных вида: ручные ударные, пневматические и термические. В зависимости от назначения они делятся на инструменты для приближенной и для точной обработки камня [1].

В настоящее время на смену огнеструйной обработки поверхности блочного камня применяются алмазные диски и канатные пилы.

На рисунке 1 показан процесс распиловки гранитного блока дисковой алмазной пилой на Куртинском гранитном карьере.



Рис. 1. Процесс распиловки гранитного блока дисковой алмазной пилой

На рисунке 2 представлены изделия, обработанные дисковой алмазной пилой.

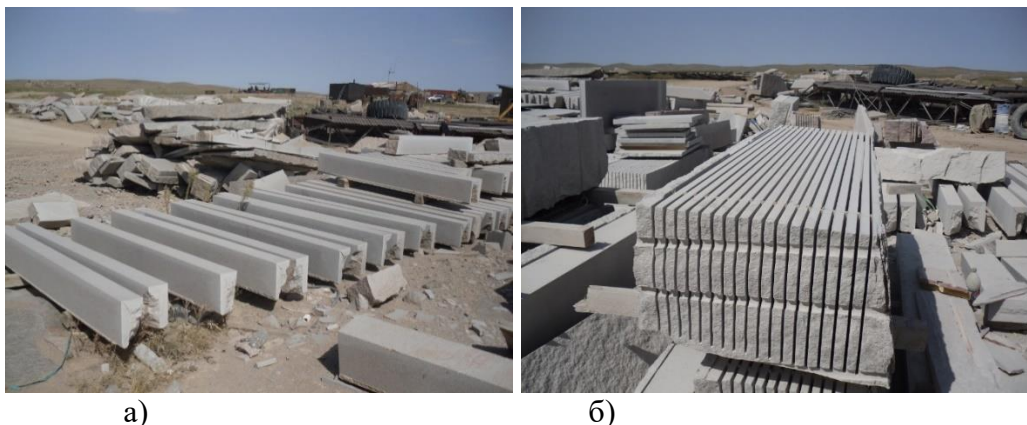


Рис. 2. Изделия, обработанные дисковой алмазной пилой: а – бортовой камень; б – распиловка на тонкие плиты

Ввиду простоты работы и организации питания топливными компонентами бензовоздушных термоинструментов, их использование в качестве рабочих органов механизированных установок является актуальным. Повышение мощности бензовоздушных термоинструментов, без значительного развития их габаритных размеров и увеличения размеров факела горелки, соизмеримого с размерами обрабатываемых поверхностей изделий из камня (бортовой камень, ступени и др.), возможно за счет интенсификации процессов горения [5].

Одним из средств интенсификации горения свободных струй за пределами среза сопла Лавалья является дожигание продуктов неполного сгорания в сверхзвуковой струе факела горелки [6].

В настоящее время разработано большое количество конструкции термоинструментов, обладающих высоким термическим эффектом [6-9].

Разработанные конструкции термоинструментов [6-9] решили ряд технологических задач – повысили производительность разрушения горных пород, автоматизировали запуск горелок в работу, что важно при разработке рабочих органов механических термоагрегатов, но существенного эффекта увеличения термодинамических параметров горения в этих конструкциях горелок не было достигнуто. Проводимые исследования для получения явления детонации в свободной струе горелок при сжигании в ней топливных компонентов в различных стехиометрических соотношениях не привел к созданию мощных ударных волн и, как следствие, детонационных явлений.

Однако введение в обогащенную горючим газovou струю горелки недостающего топливного компонента – окислителя и сжигание этих компонентов в призабойном пространстве, т.е. в отсоединенном от забоя скачке уплотнения, дало положительные результаты, но прирост производительности незначителен.

Проводимые исследования по интенсификации горения показывают перспективность применения явления детонационного горения для термического разрушения горных пород [10].

С увеличением ударного импульса струи (механической составляющей) разрушение горных пород протекает интенсивнее, а вероятность оплавления забоя уменьшается. Величина ударного импульса струи пропорциональна квадрату его скорости,

следовательно, значительное увеличение динамической составляющей скорости струи можно получить, используя явление детонации.

Внедрение технологии добычи блоков с использованием термической резки на ведущих камнеобрабатывающих предприятиях Казахстана показало, что породы большинства гранитных месторождений хорошо разрушаются газоструйными термоинструментами с приемлемой для практики скоростью. Средняя производительность резания составляет 0,65-1,2 м² щели в час [10].

Наибольшее распространение в камнеобрабатывающей промышленности нашел керосино-кислородный терморезак ТР-14/22-5 (терморезак ручной, диаметр камеры сгорания – 14 мм, калибратора – 22 мм, модель – 5) конструкции КазНИТУ имени К.И.Сатпаева (рисунок 3). В рукояти терморезака размещены системы управления и защиты прибора.

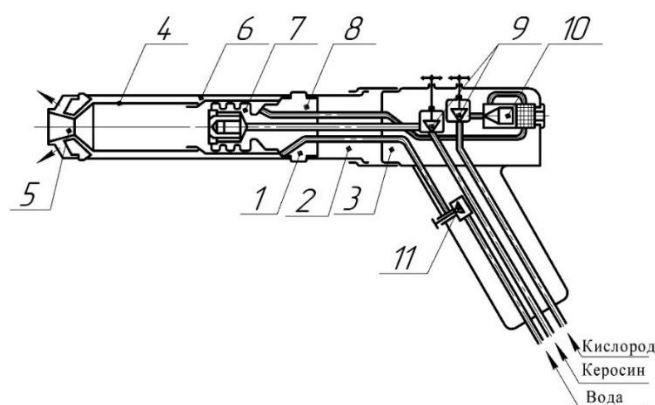


Рис. 3. Схема терморезака ТР-14/22-5: 1 – наконечник; 2 – переходник; 3 – хвостовик; 4 – камера сгорания; 5 – сопло; 6 – форсунка; 7 – завихритель; 8 – распределительная головка; 9 – вентили дросселирующие; 10 – система защиты от обратных ударов; 11 – клапан водяной

Терморезак ТР-14/22-5 является усовершенствованной моделью прибора ТР-14/22 [23] и имеет следующие показатели:

- производительность обработки – 1...2 м²/ч при толщине снимаемого слоя 0,05...0,06 м или 100...150 кг/ч отбиваемого материала;
- расход кислорода – 15..18 м³/ч, керосина – 8...9 л/ч, охлаждающей воды – 160...200 л/ч;
- давление рабочих компонентов: кислорода – 1,2...1,5 МПа, керосина – 1,2...1,5 МПа, воды – 0,3...0,5 МПа.

В КазНИТУ имени К.И.Сатпаева была разработана более совершенная конструкция термоотбойника с вихревым энергоразделителем воздуха на горячий и холодный потоки. В новом инструменте горячий поток воздуха используется для воспламенения горючей смеси и непосредственного участия в процессе горения, холодный поток – для охлаждения камеры сгорания (рисунок 4).

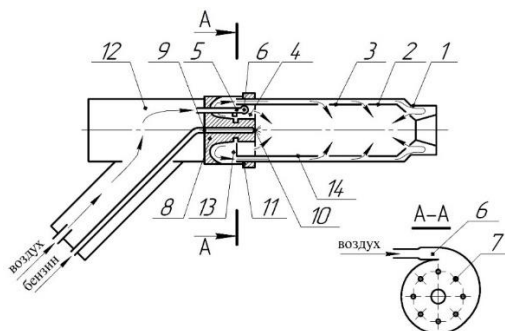


Рис. 4. Термоотбойник с энергоразделителем: 1 – сопло; 2 – жаровая труба; 3 – кожух; 5 – вихревая камера; 6 – отверстия для прохода воздуха; 7 – наклонные отверстия; 8 – конус; 9 – центральный канал; 10 – форсунка; 11 – контргайка; 12 – рукоять

Созданы и работают бензовоздушные термоинструменты БВР-60 и ГВК-70, которые на 18...20 % экономичнее и производительнее терморезаков ТРВ-12 и имеют следующие показатели:

- производительность обработки при толщине снимаемого слоя 0,045...0,05 м составляет 1,3...1,4 м²/ч или 100...110 кг/ч отбиваемого материала;
- производительность резки щели – 0,7...0,8 м²/ч при ширине щели 0,1...0,12 м;
- расход сжатого воздуха – до 9 м³/мин, бензина – 20-25 л/ч;
- давление компонентов: воздуха – 0,5...0,6 МПа, бензина – 0,5...0,6 МПа.

Механизм термического разрушения горных пород при их резании и поверхностной обработке такой же, как и при бурении шпуров и скважин, и носит характер потери устойчивости поверхностного слоя в том случае, когда его температура достигнет температуры разрушения T_p , которая определяется по выражению [11]

$$T_p = \frac{2K(1-\mu)}{\beta E} \quad (1)$$

где K – условный предел прочности (характеризует сжимающие напряжения в нагреваемом поверхностном слое породы, при которых происходит потеря его устойчивости);

μ – коэффициент Пуассона, Дж/кг·К;

β – коэффициент линейного теплового расширения;

E – модуль упругости, МН/м²;

Время от начала нагрева поверхности до момента достижения температуры разрушения определяется выражением

$$\tau_p = \frac{x}{h^2 a} \quad (2)$$

где x – текущая координата;

h – характерный размер;

a – коэффициент температуропроводности, а толщина отделяющего при этом слоя – выражением

$$\Delta = \frac{1}{h(U-1)} \quad (3)$$

где $U = \frac{\theta}{T_p}$.

Высокотемпературная газовая струя (температура до 2000...3000°C) со сверхзвуковой скоростью (свыше 2500 м/с) воздействует на поверхность горных пород. Под влиянием высокой температуры в горных породах происходит резкое увеличение объема отдельных минеральных зерен, что приводит к образованию внутренних напряжений в поверхностном слое породы с последующим ее разрушением, протекающим обычно в режиме шелушения.

Быстрота разрушения породы, под действием высокотемпературной газовой струи, зависит от теплофизических свойств породы, ее минералогического состава, структуры, текстуры, степени выветренности, трещиноватости, рационального использования энергии газовой струи и др.

Наибольшая производительность терморезаков достигается обычно на монолитных крупнозернистых гранитах с высоким содержанием кварца (30...40 %) и минимальным содержанием биотита (до 10 %) – до 1,2 м²/ч при ширине щели до 0,10 м, глубиной до 5 м. Важнейшим фактором, влияющим на производительность терморезаков, является рациональное использование энергии газовой струи, определяемое расстоянием от забоя щели до среза сопла горелки (оптимальное – 70 мм) и углом атаки газовой струи (оптимальный – 60°) [12].

Установлено, что производительность огнеструйного разрушения пропорциональна мощности теплового потока, идущего в породу, тепловая мощность, в свою очередь, зависит от температуры газовой струи, ее скорости и геометрических размеров пятна контакта. Перечисленные факторы являются режимными параметрами термоинструментов. Изучение их влияния на производительность огнеструйного разрушения необходимо для проектирования термоинструментов целевого назначения.

Следующим этапом повышении мощности факела термоинструмента, является более полное использования его энергетических характеристик. Решение поставленной задачи достигается тем, что возбуждают скачки уплотнения (детонационной волны) вдоль образованной струи факела горелки после ввода ее в специальной насадок, внутренней диаметр отверстия несколько больше диаметра критического сечения сопла Лавалья горелки, выполненный перфорированным для эжектирования атмосферного воздуха [13].

Осуществление этого способа обуславливается применением устройства новой конструкции, состоящего из огнеструйной горелки с соплом Лавалья и соосного соплу цилиндрического насадка с двухрядными эжекционными окнами на его выходе.

Для первого ряда эжекционные окны выполнены для возбуждения мощного стационарного скачка уплотнения (ударной волны) в начале основного участка основной струи горелки, в котором дожигается горючее, подающее с избытком из камеры сгорания через сопло Лавалья, что позволяет увеличить мощность факела использованием горения в стационарном скачка уплотнения насадка, т.е. увеличением энергетических характеристик факела. Такое выведение нового факела на рабочий режим позволяет получить факел большой мощности с более полным использованием его энергетических характеристик без использования громоздкого компрессорного оборудования. Второй каскад перфорации предназначен для создания подстилающего слоя эжектированного атмосферного воздуха для охлаждения выходного сопла насадка.

На рисунке 1 представлено предлагаемое устройство термоинструмент.

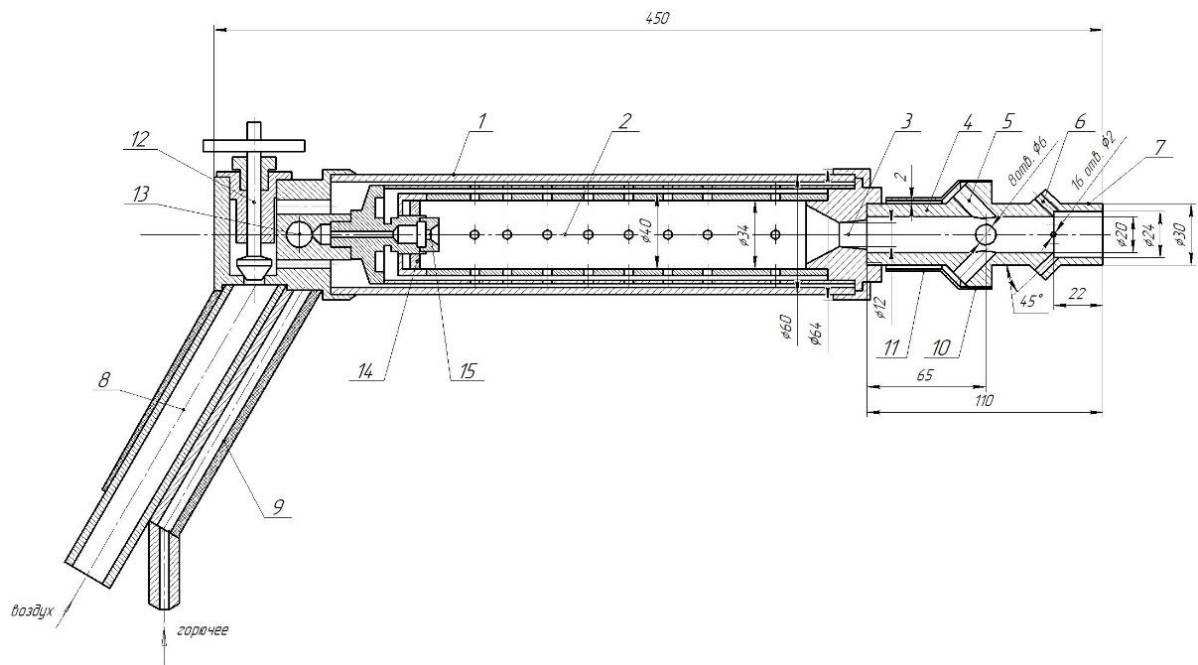


Рис. 5. Устройство для термического разрушения горных пород:

1 – термоинструмент, 2 – камера сгорания, 3 – сопло Лавалья, 5 – насадка, 6 – эжекционные окна, 7 – выходное сопло, 8 – магистраль воздушная, 9 – магистраль горючее, 10 – кожух, 11 – кольцевой канал, 12,13 – регулировочные каналы, 14 – завихритель, 15 – форсуночный аппарат, 16 – зазор.

Устройство для термического разрушения горных пород работает следующим образом.

В камеру сгорания 2 горелки 1 через форсунку 15 подается под давлением и распыляется горючее, а через отверстия 16 и завихрителя 14 в камеру сгорания 2 нагнетается сжатый атмосферный воздух. Горение горючих компонентов в камере сгорания 2 сопровождается выбросом раскаленной газовой струи из камеры сгорания 2 через сопла Лавалья 3 в насадок 4, имеющий несколько больший внутренней диаметр 17 относительно диаметра критического сечения сопла Лавалья 3 и далее через выходное сопло 7, диаметром 18, на объект разрушения. Для повышения эффективности работы горелки, в частности по разрушению горных пород, в предлагаемом устройстве происходят наращивание ее мощности.

В насадок 4 факел подается из камеры сгорания 2 обогащенным, через форсуночный аппарат горелки 15, горючим. За счет трения струи о шероховатости внутренней стенки насадка 4, образованной наклонными эжекционными окнами, а также встречи с холодным эжектируемым через эжекционные окна 5 атмосферным воздухом, в этом месте возбуждается мощный стационарный скачок уплотнения. Этим достигается быстрое (детонационное) горение и полное дожигание горючего, и, как следствие, повышение мощности струи, а также дальнейший разгон струи в цилиндрическом насадке 4. Струя повышенной мощности и увеличенного диаметра из насадка 4 через выходное сопло 7 выбрасывается наружу, и идет на разрушение горной породы. Кожух 10 и образованный им кольцевой зазор 11 обеспечивает объем всасываемого воздуха через эжекционные окна 5 и охлаждения поверхности насадка 4, нагреваемого фронтом горения внутри скачка уплотнения насадка 4.

Термодинамические параметры:

- скорость потока газа – 2,0-2,5 км/с;
- температура газового потока – 2000-2500⁰С;

Использование предлагаемого изобретения позволит снизить трудоемкость изготовления огнеструйных горелок, их металлоемкость, а главное получать необходимые мощности факелов без использования дополнительного громоздкого компрессорного оборудования и этим улучшить технико-экономические показатели термоинструмента.

Выводы:

1. Выполнен анализ современного состояния развития добычи и обработки природного камня из гранитов с применением огнеструйных термоинструментов;
2. Рассмотрены процессы добычи и обработки блочного камня из крепких горных пород;
3. Рассмотрены этапы развития конструкций огнеструйных термоинструментов для разрушения горных пород при добыче и обработке блочного камня из крепких горных пород по патентным материалам.
4. Разработана новая конструкция термоинструментов с высокими термодинамическими параметрами, за счет организации горения топливных компонентов в скачках уплотнения в сверхзвуковом потоке газовой струи горелки.

Список литературы: 1. Чирков А.С. Добыча и переработка строительных горных пород: Учебник для вузов. - М.: Изд-во МГТУ, 2001. - 623 с. 2. Мендекеев Р.А. Научно-прикладные основы создания техники и технологий для камнедобывающей промышленности: автореф. ... д-ра техн. наук: 05.05.06. – Бишкек: Кыргызско-Узбекский университет, 2008. – 46 с. 3. Поветкин В.В. Процессы и технология огнеструйной обработки блоков крепких горных пород: автореф. ... д-ра техн. наук: 05.15.11. – Алматы: КазНТУ, 2001. – 42 с. 4. Пат. 2381897 РФ. Устройство для распиловки камня алмазным канатом / Макарев Г.Г.; опубл. 20.02.2010, Бюл. №5. - 11 с. 5. Гуров М.Ю. Обоснование технологических параметров добычи и разделки гранитных блоков канатно-алмазными пилами: автореф. ... канд. техн. наук: 25.00.22, 25.00.20. - М.: Магнитог. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2002. - 16 с. 6. А.с. 724720. СССР. Огнеструйная горелка для термического разрушения минеральных сред / Архипкин В.И., Поветкин В.В., Сейтов А.С., Спасенов М.И., Шапарев С.В.; опубл. 30.03.80, Бюл. №12. - 2 с. 7. А.с. 1209855. СССР. Устройство для термического разрушения твердых пород / Поветкин В.В., Сейтбаталов С.М., Глеуов М.Г.; опубл. 07.02.86, Бюл. №5. - 3 с. 8. А.с. 1221346. СССР. Устройство для термического разрушения горных пород / Глеуов М.Г., Поветкин В.В.; опубл. 30.03.86, Бюл. №12. - 3 с. 9. Пат. 15191 РК. Горелка термоинструмента / Генбач А.А., Беркинбаев Г.Д., Абитов К.А., Алшымбаева Р.Т.; опубл. 16.07.2007, Бюл. №7. – 5 с. 10. Першин Г.Д., Голяк С.А., Уляков М.С., Караулов Н.Г., Сорокин И.С., Домнин В.Ю., Иштакбаев Р.Ф. Современные технологии добычи блочного гранита // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Москва, 2014. - №12, - С.163-167. 11. Дмитриев А.П., Гончаров С.А., Германович Л.Н. Термическое разрушение горных пород. - М.: Недра, 1990, - 255 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТОЧЕНИИ С УЧЕТОМ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

Шарипов В.А, Грешникова В.В., Петряева И.А.

(кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, г. Донецк)

Качество деталей в значительной степени определяется поверхностным слоем, формируемым под влиянием температурных процессов в процессе механообработки. Тепловые процессы определяют функционирование технологических систем, оказывая существенное влияние на работоспособность режущего инструмента и качество обработки деталей [1-3].

Распределение температуры на рабочих поверхностях режущего лезвия, является одной из важнейших характеристик тепловых явлений при эксплуатации инструмента и влияет на закономерности износа этих поверхностей. Инструментальные материалы сохраняют свои исходные свойства - механическую прочность, твердость, износостойкость при повышении температуры до значений, не превышающих их температуростойкости. При более высокой температуре в материале происходят структурно-фазовые превращения, вызывающие снижение его твердости. Следствием этого является уменьшение износостойкости, повышения интенсивности износа и сокращение периода стойкости инструмента.

Установлено, что особую трудность при анализе теплового состояния режущего инструмента представляет переменность параметров процесса резания, связанная с неизбежным изнашиванием лезвия. Вследствие этого источники теплоты на передней и задней поверхностях лезвия изменяются как по размерам, так и по интенсивности тепловыделения, что приводит к изменению тепловых потоков и температуры резания в течение периода стойкости инструмента при постоянстве всех прочих параметров. Анализ общих закономерностей изменения температур резания в зависимости от износа инструмента позволил обосновать критерий износа по задней поверхности, обеспечивающий минимальную температуру резания. Установлены аналитические зависимости значений критического износа h_0 от скорости резания V и подачи S в условиях черновой и чистовой обработок [4].

Температура резания в зависимости от износа $\Theta(h)$ рассчитывается как средняя температура на передней $\Theta_1(h)$ и задней $\Theta_2(h)$ поверхностях лезвия инструмента с учетом влияния износа на все параметры процесса резания [4]:

$$\begin{aligned}\Theta(h) &= [\Theta_1(h)l + \Theta_2(h)h]/(l + h); \\ \Theta_1(h) &= [q_1(h)M_1l + q_2(h)N_2(h)h]/\lambda_u; \\ \Theta_2(h) &= [q_2(h)M_2(h)h + q_1(h)N_1(h)l]/\lambda_u,\end{aligned}\tag{1}$$

где l - длина контакта передней поверхности лезвия со стружкой; h - износ по задней поверхности лезвия; $q_1(h)$ и $q_2(h)$ - плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях с учетом влияния износа; λ_u - коэффициент теплопроводности материала инструмента; $M_{1,2}(h)$, $N_{1,2}(h)$ - безразмерные функции, определяющие нагрев контактных площадок на передней и задней поверхностях лезвия с учетом влияния износа.

Плотности тепловых потоков на передней $q_1(h)$ и задней $q_2(h)$ поверхностях лезвия инструмента в зависимости от теплофизических характеристик детали и

инструмента и основных параметров процесса резания определяются с учетом износа следующим образом [4]:

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

$$\text{где } K_1 = \frac{(1+c) \omega_0 k b' q_0}{\lambda_0 V} + \frac{K_{c1} q_{1T}}{\lambda_0} \sqrt{\frac{\omega_0 k l}{V}}; K_2(h) = \frac{(1+c) \omega_0 k b' q_0 T_0}{\lambda_0 V} + \frac{K_{c2} q_{2T}}{\lambda_0} \sqrt{\frac{\omega_0 h}{V}};$$

$$K_3(h) = 1,82 K_{c2} \sqrt{\omega_0 h / V} / \lambda_0; K_4 = 1,3 K_{c1} \sqrt{\omega_0 k l / V} / \lambda_0 + M_1 l / \lambda_u.$$

Представление температуры резания (1) в безразмерном виде позволяет устанавливать общие закономерности ее изменения независимо от условий обработки $\Theta(h) = PT(\chi)$ [4]:

$$\begin{aligned} T(\chi) &= [T_1(\chi) + \chi \mu(\chi) T_2(\chi)] / (1 + \chi); \\ T_1(\chi) &= M_1 + \chi \mu(\chi) N_2(\chi); \\ T_2(\chi) &= N_1(\chi) + \chi \mu(\chi) M_2(\chi), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\chi = h/l$ - безразмерный износ; $\mu(\chi) = q_2(h)/q_1(h)$ - безразмерный коэффициент отношения плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия; $P = q_1(h)l/\lambda_u$ - размерный коэффициент, учитывающий условия обработки; $M_{1,2}(\chi) = (4,88 + 2,64 \eta_{1,2}^{0,51} \lg \eta_{1,2}) \beta^{0,85}$; $N_{1,2}(\chi) = (0,04 + 0,02 \eta_{1,2}^{0,61} \lg \eta_{1,2}) B_{1,2}(\chi)$ - безразмерные функции ($\eta_1 = b/l$, $\eta_2 = b/h$ ($\eta_{1,2} > 1$)); β - угол заострения; $B_{1,2}(\chi)$ - специальные функции.

В зоне резания имеет место переплетение путей движения потоков теплообмена через контактные поверхности инструмента. Рассматриваются они в виде источников интенсивностью q_1 и q_2 . Интенсивность этих источников распределена по площадкам $b \times l_1$ и $b \times l_2$ неравномерно. Аналитически определены величины плотности тепловых потоков, температурные поля лезвия инструмента и значения температуры резания в зависимости от изменяющейся величины износа по задней поверхности резца. Расчеты выполнены для следующих условий обработки: обрабатываемый материал - 30ХГТ, инструментальный материал - твердый сплав *T15K6*; износостойкие покрытия - карбид титана *TiC*, нитрид титана *TiN*. Геометрические параметры инструмента: главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$, вспомогательный $\varphi_1 = 8^\circ$, задний $\alpha = 7^\circ$, передний $\gamma = 7^\circ$. Режимы резания: глубина резания $t = 1$ мм, подача $s = 0.2$ мм/об, скорость резания $V = 200$ м/с. Расчет величин плотности тепловых потоков осуществлен с помощью математического пакета *Mathcad Professional 15*. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты аналитического определения тепловых процессов при резании в зависимости от величины износа по задней поверхности резца

Износ по задней поверхности и h , мм	Плотность теплового потока на передней поверхности и q_1 , Вт/м ² ×10 ⁸	Плотность теплового потока на задней поверхности и q_2 , Вт/м ² ×10 ⁸	Температура на передней поверхности Q_1 , °C	Температура на задней поверхности Q_2 , °C	Температура резания Q , °C
0,1	3,028	-7,661	1137	512	1086
0,2	2,915	-5,146	1038	505	958
0,4	2,515	-2,496	869	506	774
0,6	1,931	-8,126	730	533	661
0,8	1,175	0,445	532	588	606

Знак «-» у показателей плотности теплового потока на задней поверхности означает, что тепловой поток направлен из тела инструмента в деталь (рис. 1). Тепловой поток по задней поверхности увеличивается и при $h=0,8$ мм уже направлен в тело инструмента. При этом наблюдается незначительный рост температуры на задней поверхности инструмента (рис. 2) и снижение температуры резания в целом (рис. 3).

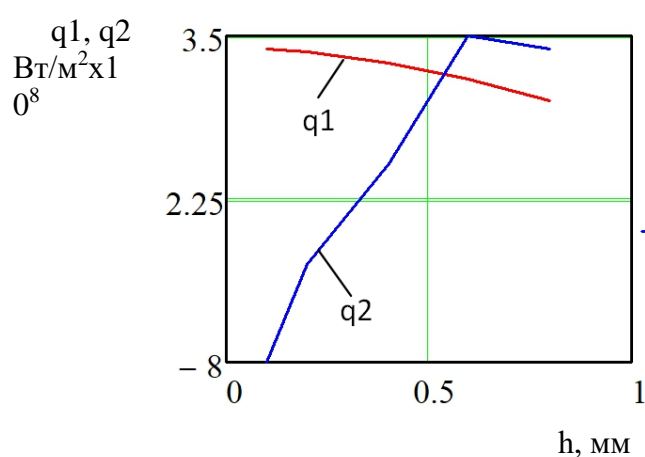


Рис. 1. Плотности тепловых потоков по передней q_1 , и задней поверхности q_2

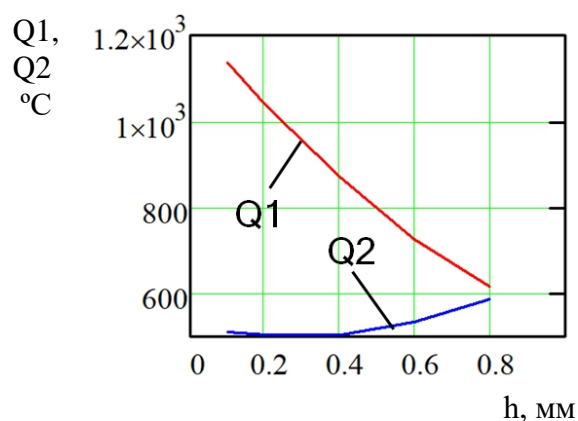


Рис. 2. Температура на передней Q_1 , и задней поверхности Q_2

При этом, температура резания при $h=0,1$ мм, $h=0,2$ мм превышает предельно допустимую 800 °С для заданных материалов. Анализ теплового состояния резца в зависимости от изменяющейся величины износа по задней поверхности показал, что увеличение значения износа благоприятно сказывается на тепловом состоянии инструмента. Однако, увеличение износа по задней поверхности свыше $h=0,2$ мм

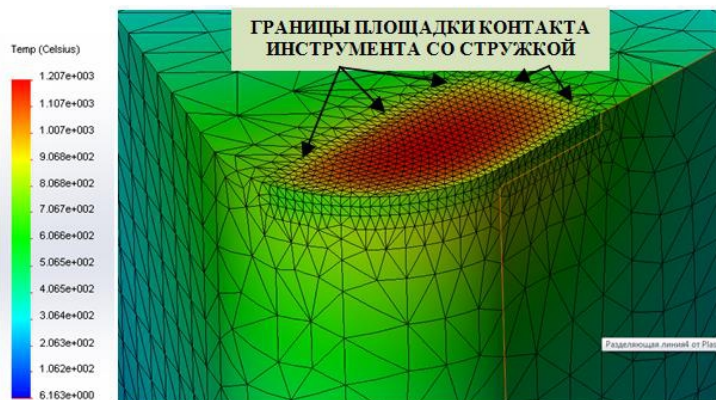


Рис. 4. Конечно-элементная модель резца с режущей пластиной ромбической формы

за задней поверхностью резца с целью обеспечения заданного качества обработанной поверхности.

Одним из способов исследования температурного состояния инструмента является

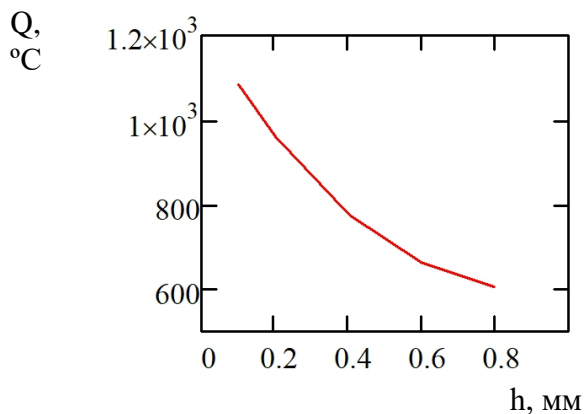


Рис. 3. Изменение температуры резания в зависимости от износа по задней поверхности

методом конечных элементов (МКЭ).

Получена конечно-элементная модель резца с режущей пластиной ромбической формы из твердого сплава без покрытия (рис. 4)

По результатам расчетов получены картины распределения температуры по поверхности резца в зависимости от величины износа по задней поверхности, которые отображают особенности нагружения передней и задней поверхностей в целом и функциональных зон этих поверхностей. На рисунке 5 в качестве примера приводим расчет температуры на рабочих поверхностях инструмента для значения износа по задней поверхности $h=0,2$ мм.

сопровождается увеличением шероховатости обработанной поверхности выше заданной, что необходимо учитывать при назначении оптимальных режимов чистовой обработки.

Таким образом, результаты аналитического расчета параметров теплового состояния инструмента показали необходимость снижения температуры резания до допустимого значения и снижения интенсивности износа по

использование программного пакета SolidWorks 2017 элементов как эффективного средства решения различных задач, в том числе исследования, расчета и анализа тепловых процессов в технических системах. Модель сделана в SolidWorks, а расчеты выполнены с применением расчетного модуля Simulation, который входит в этот программный пакет.

Решение задачи определения теплового состояния резца, которое осуществляется с помощью данного программного пакета, позволяет сделать численный анализ тепловых явлений

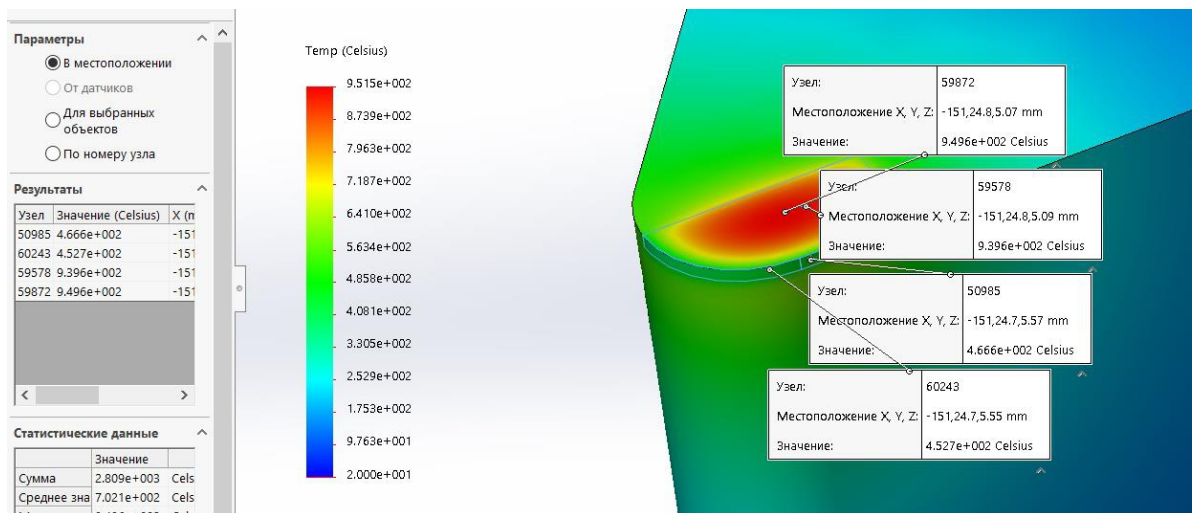


Рис. 5. Пример определения температурного состояния режущей части резца при значении износа по задней поверхности $h=0,2$ мм

Результаты остальных расчетов параметров температурного состояния инструмента, выполненные с помощью расчетного модуля Simulation для различных значений износа по задней поверхности сведем в таблицу 2.

Сопоставление результатов расчета температурного состояния режущей части инструмента показало, что разница между аналитическим и методом моделирования для заданных условий обработки не превышает 8,9%, что позволяет считать результаты расчета температур достоверными, а также использовать представленную методику с целью оценки и прогнозирования теплового состояния инструмента.

Таблица 2 – Сопоставление результатов температурных расчетов, выполненных аналитически и методом моделирования

Износ по задней поверхности h , мм	Результаты аналитического расчета		Результаты, полученные при моделировании	
	Температура на передней поверхности $Q1$, °C	Температура на задней поверхности $Q2$, °C	Температура на передней поверхности $Q1$, °C	Температура на задней поверхности $Q2$, °C
0,1	1137	512	1035	488
0,2	1038	505	951	466
0,4	869	506	854	475
0,6	730	533	721	520

Нанесение покрытий на режущую часть инструмента способствует уменьшению контактных нагрузок, снижению мощности тепловых источников и благоприятному перераспределению тепловых потоков, тем самым, уменьшая термомеханическую напряженность режущей части инструмента.

Представленная модель термомеханических нагрузжений позволяет выделить функциональные зоны превышения предельно допустимой температуры с целью обеспечения требуемых эксплуатационных свойств режущего инструмента – это передняя поверхность (уровень составляющих согласно функционально-ориентированного подхода [5]).

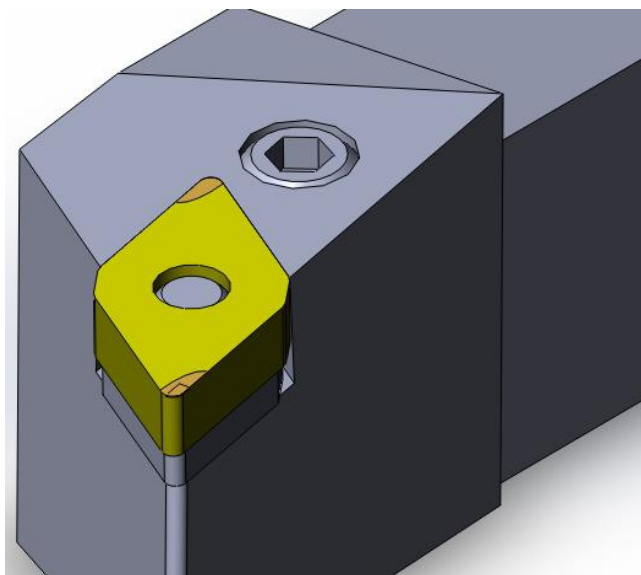


Рис. 6. Модель резца с режущей пластиной ромбической формы с функционально-ориентированными свойствами покрытия

Для уменьшения термомеханической напряженности в указанной зоне, на основании вышеуказанных принципов функционально-ориентированного подхода, предложено нанесение износостойких покрытий особой структуры. При этом на передней поверхности твердосплавной пластины с износостойким покрытием из карбида титана TiC зонально (область при вершине) целесообразно нанесение

дополнительного слоя покрытия из нитрида титана TiN. Модель такого инструмента представлена на рисунке 6.

Так, на основании принципов функционально-ориентированного подхода [5]: структурного, функционального, топологического, количественного, адекватного структурно-функционального соответствия рационально нанесение износостойких покрытий зонально, чтобы исключить возможность возникновения нагрузжений, превышающих допустимые.

Покрытие карбида и нитрида титана являются базовыми при производстве твердых сплавов с износостойкими покрытиями, поскольку они зачастую входят в состав многослойных покрытий, и, как правило, представляют собой слой, непосредственно примыкающей к твердосплавной основе, и играют важную роль в повышении стойкостных характеристик инструмента. В процессе осаждения покрытий карбида титана формируется переходный слой покрытия - основа, а также происходят основные изменения в структуре и свойствах поверхностной области твердых сплавов.

Одним из путей повышения общей толщины покрытия является его многослойность (последовательно расположенные слои TiC, TiCN переменного состава и TiN) при сохранении относительно мелкозернистой структуры, а за счет этого и достижения большего эффекта повышения стойкости инструмента.

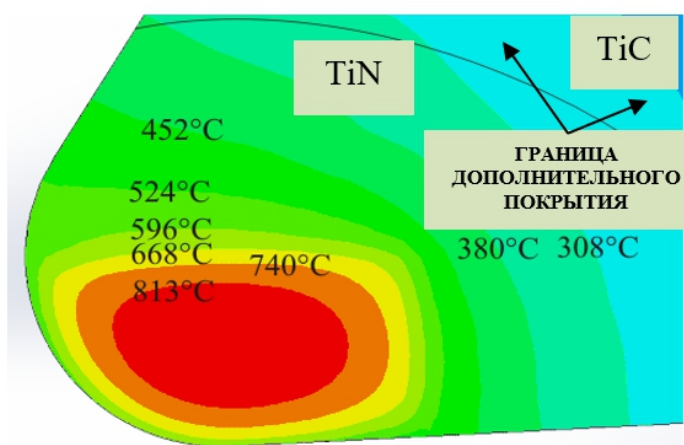


Рис. 7. Распределение температур по передней поверхности инструмента с функционально-ориентированными свойствами

Для инструмента с покрытием такой структуры выполнен расчет тепловых потоков и температур в зоне резания (рис. 7). Анализ теплового состояния режущей части инструмента с функционально-ориентированными свойствами показал снижение температуры на передней поверхности в пределах 4,8 – 21,4% для различных значений износа по задней поверхности резца по сравнению с инструментом без покрытий (рис. 5). Температура максимально нагруженной зоны в пределах 810 °С; это позволяет

утверждать, что температура резания для заданных условий обработки не превышает допустимого значения.

Таким образом, результаты расчета температур в зависимости от износа по задней поверхности инструмента без покрытия можно считать достоверными, а для резцов с покрытиями с функционально - ориентированными свойствами можно использовать представленную методику с целью оценки и прогнозирования теплового состояния инструмента для различных видов и вариантов структуры износостойких покрытий.

Список литературы: 1. Резников, А. Н. Тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – Москва : Машиностроение, 1990. – 288 с. 2. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – Москва : Машиностроение, 1981. – 279 с. 3. Ящерицын, П. И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах : учеб. для вузов / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. – Минск : Высш. шк., 1990. – 512 с. 4. Моделирование тепловых процессов в технологических системах: учебное пособие (для студентов направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиля подготовки «Информационные технологии машиностроения») / сост. Ивченко Т. Г. - Донецк : ДОННТУ, 2017. - 144 с. 5. Михайлов, А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. - Донецк: ДонНТУ, 2009. - 346 с.

**ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ
ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С ПОКРЫТИЯМИ****Шарипов В.А, Грешникова В.В., Петряева И.А.***(кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, г. Донецк)*

Процесс обработки фасонной поверхности характеризуется постоянным изменением параметров процесса резания, что обуславливает необходимость детального исследования их взаимного влияния, установления связей и закономерностей их влияния на процессы в зоне резания. Исходя из этого, возникает ряд последовательных задач по обеспечению эффективности обработки при заданном уровне качества поверхности с учетом переменности параметров процесса резания. Во-первых, это управление процессом обработки фасонной поверхности детали (изменением ее геометрических характеристик со снятием припуска). Во-вторых, комплексная оценка возможностей повышения эффективности обработки (одновременное повышение производительности и снижение себестоимости) с учетом переменности условий процесса резания. Значительным этапом является установление взаимосвязи между характеристиками инструмента (геометрия, инструментальный материал, покрытие) и обрабатываемой детали, а именно нахождение оптимального соответствия применяемого инструмента условиям обработки. В случае непрерывно изменяющихся условий при точении фасонной детали выбор режущего инструмента, в частности резца, оказывает существенное влияние на ряд показателей при выполнении технологических воздействий.

Комплексный учет и аналитическое определение переменных параметров, положенные в основу работы, позволит наиболее точно смоделировать процессы в зоне резания при обработке фасонной поверхности (рис. 1). Поскольку использование упрощенных аналитических зависимостей в данном случае приведет к снижению достоверности определения действующих ограничений при расчете оптимальных режимов обработки. Решение данной проблемы возможно только путем разработки соответствующих аналитических методик, позволяющих определять весь комплекс особенностей обработки фасонной поверхности расчетным путем без проведения дополнительных экспериментальных исследований. Создание такой аналитической модели процесса точения криволинейной поверхности является довольно сложной задачей ввиду сложности и переменного характера процессов, протекающих в зоне обработки.

При обработке фасонной поверхности сложный характер изменения кинематических геометрических параметров лезвия инструмента и параметров среза поверхностного слоя существенно усложняет анализ влияния этих параметров на формирование шероховатости поверхности, режимы обработки, силовые и температурные характеристики процесса резания.

Вдоль криволинейной образующей переменными являются: углы в плане (главный φ , вспомогательный φ_1), параметры среза - ширина b и толщина a . В результате нестационарный характер приобретают физические параметры процесса резания: скорость резания, параметры стружкообразования, силы резания [1].

С учетом переменности характера процесса обработки в настоящей работе предусмотрено исследование влияния геометрических параметров инструмента на параметры шероховатости обработанной поверхности и установление количественных

связей шероховатости с углами в плане резца с целью обеспечения ее постоянства вдоль криволинейной образующей [4].

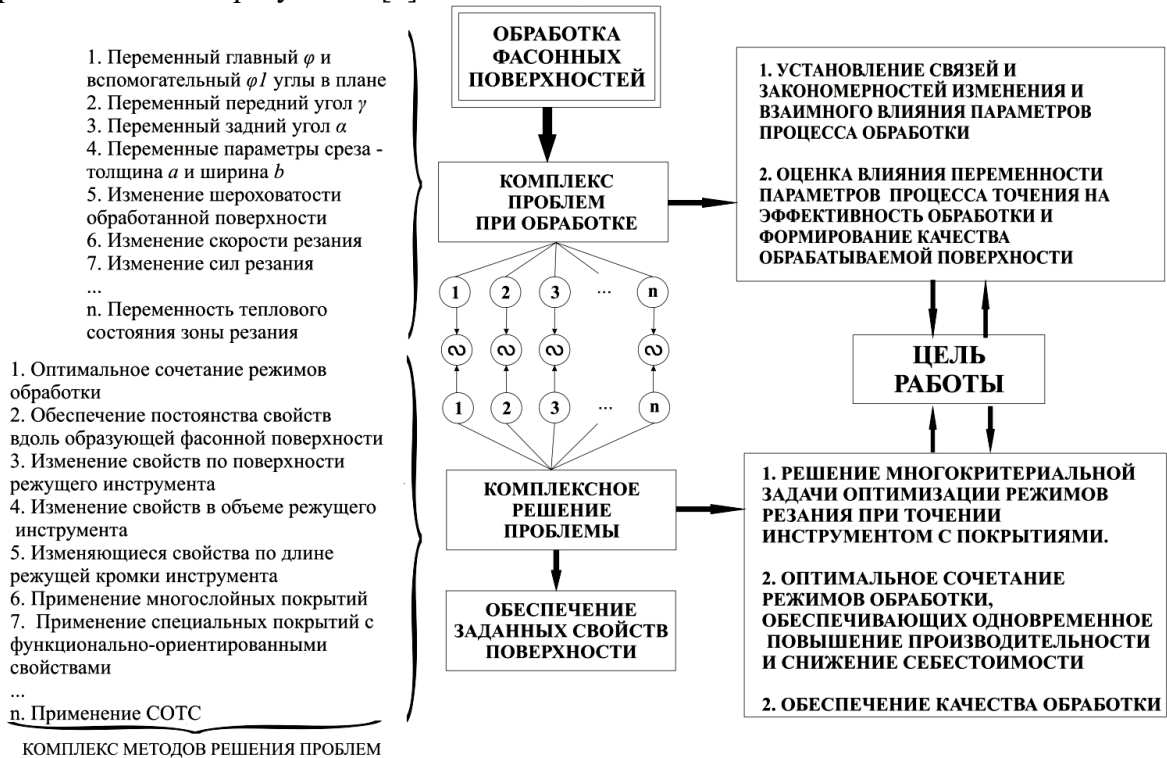


Рис. 1. Общая методика повышения эффективности обработки фасонных поверхностей деталей



Рис. 2. Схема поиска рациональных решений

Производительность и качество обработанной поверхности с учетом переменности параметров инструмента и параметров сечения среза в значительной степени обусловлены тепловыми явлениями в зоне обработки. Исследование переменности тепловых потоков в зоне резания при обработке фасонных поверхностей, получение зависимости температуры резания от скорости резания, подачи, глубины резания и безразмерной координаты, определяющей положение вершины лезвия на обрабатываемой поверхности вдоль образующей обусловлено необходимостью учета температурных ограничений для определения оптимальных режимов резания при токарной обработке криволинейных поверхностей [2]. Снятие температурных ограничений за счет использования инструментов с покрытиями позволяет интенсифицировать процесс обработки [3].

Дальнейшее обеспечение повышения эффективности обработки фасонной поверхности целесообразно осуществлять в соответствии с принципами функционально-ориентированного подхода. Применение твердосплавного инструмента с износостойкими

покрытиями с функционально-ориентированными свойствами позволяет максимально повысить их общие эксплуатационные параметры за счет местного увеличения технических возможностей и свойств отдельных элементов, поверхностей и/или зон изделия в зависимости от функциональных местных особенностей их эксплуатации. При этом вид и структура покрытия на рабочих поверхностях инструмента определяются, а также топологически, функционально и количественно ориентируются при их реализации в отдельные зоны инструмента в зависимости от заданных функциональных особенностей их эксплуатации. Здесь на начальном этапе предусмотрено деление инструмента на функциональные элементы по следующим уровням [5]: уровень изделия, уровень частей, уровень составляющих, уровень зон.

После деления инструмента на функциональные элементы выполняется определение характера воздействия на каждый из них в зависимости от особенностей эксплуатации изделия. Далее на основании основных принципов функционально-ориентированного подхода (структурного, функционального, топологического, количественного, адекватного структурно-функционального) определяется вид, тип, качественные характеристики и структура покрытия режущей части инструмента с целью обеспечения необходимых свойств в функциональных элементах изделия.

Таким образом, в основу настоящей работы положено решение комплексной задачи повышения эффективности обработки, которое можно представить схематически (рис. 2.2).

Здесь окружность *И* обозначает изменяющиеся условия обработки фасонной поверхности, их исследование и аналитическое описание. Окружность *О* представляет собой решение задачи оптимизации, а именно определение оптимальных режимов обработки с учетом изменяющихся условий обработки. Окружность *ФОП* представляет собой решение задачи обеспечения возможностей режущего инструмента за счет применения износостойких покрытий с функционально-ориентированными свойствами.

Область решений рассматриваемой задачи можно представить выражением:

$$S=И \cap О \cap ФОП.$$

Таким образом, представленный подход обеспечивает возможность комплексного решения задачи повышения эффективности обработки фасонных поверхностей деталей с учетом всех особенностей процесса.

Список литературы: 1. Петряева И.А., Михайлов А.Н., Т.Г. Ивченко. Учет переменности параметров процесса точения фасонных поверхностей при определении оптимальных режимов резания // Научно-технический и производственный журнал. – М: Машиностроение. – 2014. – № 9. С. 6-13. 2. Ивченко Т.Г., Петряева И.О., Король К.О. Визначення теплових потоків та температури різання під час точіння фасонних поверхонь// Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XX международной конференции в г. Севастополе 17-21 сентября 2013г. В 4-х томах. - Донецк: ДонНТУ, 2013. Т.1. - С. 253-257. 3. Табаков, В. П. Влияние состава износостойкого покрытия на контактные и тепловые процессы и на изнашивание режущего инструмента // СТИН. 1997. - № 10. - С. 20 - 24. 4. Петряева И.О. Дослідження параметрів шорсткості під час обробки фасонної поверхні // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжн. зб. наук. праць / ДонНТУ. Донецьк. 2014. № 2(48). С. 50-56. 5. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Ланкин К.А., Мифтахов Р.А.

(КНИТУ, г. Казань, Россия)

Тел: +79270370333; E-mail: vcvcvc12345678@gmail.com

Abstract: The description of the method of production of activated carbon from wood processing waste is given. An energy- and resource-saving continuously operating unit for the production of activated carbon has been considered, which has several technological zones, which makes it possible to obtain high-quality activated carbon, ensure technological safety and achieve high-energy efficiency.

Key words: organic waste, processing, activated carbon, temperature deformation, calculation, strength.

На кафедре переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета разработана энерго- и ресурсосберегающая непрерывно действующая установка, предназначенная для производства активированного угля [1÷10]. В основу был заложен разработанный и запатентованный способ переработки древесных отходов в активированный уголь [11÷12]. Схема установки представлена на рисунке 1.

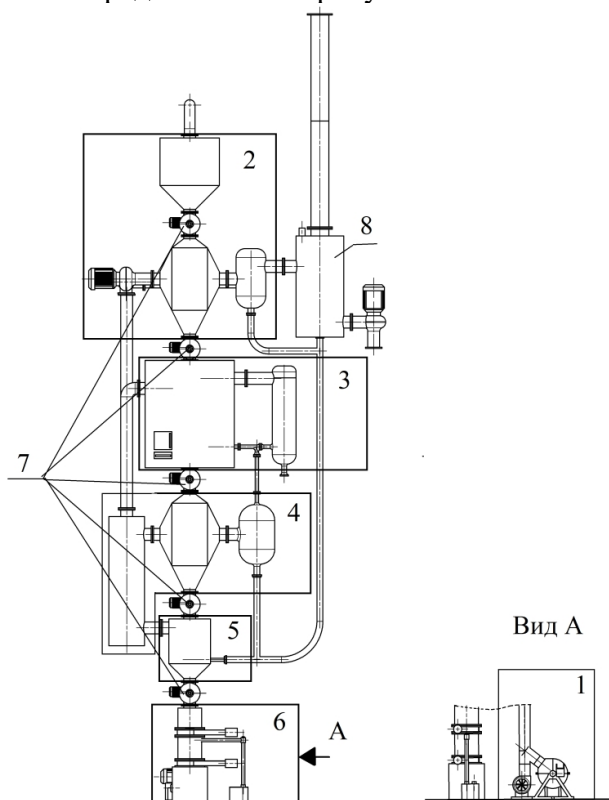


Рис. 1 Установка для производства активированного угля

Установка представляет собой вертикальную реторту. Принцип работы установки состоит в измельчении и сушки древесных отходов с их последующем термическим

разложением в древесный уголь и парогазовую смесь. Уголь затем активируется и охлаждается, а неконденсируемая часть парогазовой смеси служит топливом для работы самой установки, отработанные топочные газы идут на создание перегретого пара, на процесс сушки, а затем проходят через адсорбер 8 и уходят в атмосферу.

Конструктивно установка состоит из зон: измельчения 1, сушки 2, пиролиза 3, активации 4, испарительного охлаждения 5 и вакуумного охлаждения 6. Стыковка между зонами реализована установкой шлюзовых питателей 7.

Конструкция установки требует жесткого крепления ее узлов. Для этого реторты можно заварить в жесткий каркас. Однако анализ рабочих температур узлов установки (рис. 2) показал, что такое решение ошибочное, так как при повышении температуры будет происходить расширение металла, которое при температурах 500÷900 °С будет столь значительным, что приведет к значительным деформациям конструкции и выведет из строя установку.

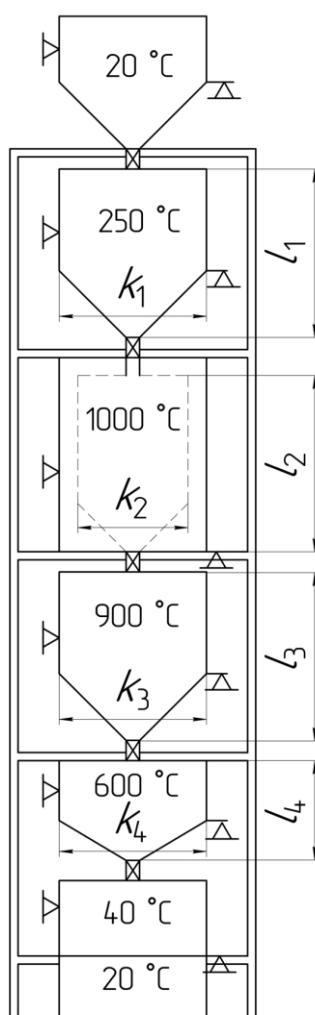


Рис. 2. Распределение температур, приводящих к деформации установки

На рис. 2 представлена схема распределения рабочих температур в установке и размеры ее элементов с учетом температурных деформаций Δl . Параметры камер с термическими деформациями рассчитываем по формулам:

$$l_i = L_i + \Delta l_i;$$

$$k_i = K_i + \Delta l_i,$$

где l_i и k_i – длина и ширина деформированной i -й камеры с подводными патрубками; L_i и K_i – номинальные высота и ширина i -й камеры; Δl_i – температурная деформация i -й камеры.

Для определения параметров стыкуемых труб и компенсаторов необходимо учитывать температурное воздействие на все элементы устройства.

Температурные деформации Δl_i определяем по формуле

$$\Delta l_i = \alpha(t_i - t_0)l_i,$$

где α – коэффициент температурного расширения, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; t_i – рабочая температура камеры; t_0 – начальная температура камеры.

Ввиду температурного расширения элементов конструкцию, жесткое крепление камер, использовать нельзя. Поэтому предлагается устанавливать камеры в специальные рамы, а патрубки состыковки камер с питателями и патрубки подводов и отводов газа пара сделать гофрированными.

Схема крепления камер в установке показана на рис. 3.

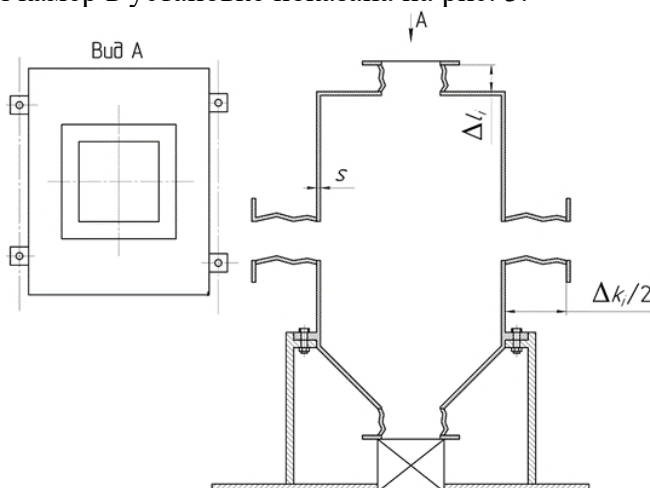


Рис. 3. Чертеж крепления камер в установке

Параметры гофрированных патрубков соответствуют удлинению элементов камеры при температурном расширении.

Для прочностных расчетов необходимо знать массу камеры, которую находим по формуле

$$m_i = S_i s_i \rho.$$

Здесь S_i – площадь поверхности камеры; ρ – плотность материала; s_i – толщина стенок:

$$s = a \sqrt{\frac{kbc}{2[\sigma]}} + k_k,$$

где a и b – длины стенок; c – высота камеры; σ – допустимое напряжение, $\text{H}/\text{м}^2$; k_k (исправить в формуле) – допуск на коррозию; $k = 0,1 \div 0,2$ – коэффициент на форму резервуара.

Корпус камер предлагается изготавливать из стали 15X25Т, которую можно использовать при агрессивных средах и высоких температурах (до 1000°C). Гофрированные патрубки (У 22.21.29-001-67524681–2017) выполнены из стеклоткани и усилены металлической спиралью, их можно эксплуатировать при температурах от минус 40 до плюс 1100°C .

Список литературы: 1. Ю.Л. Юрьев, В.П. Орлов, С.А. Панюта, Т.В. Штеба// Проблемы аппаратурного оформления процессов переработки, измельченной древесины в активные угли//Лесной журнал. -2000. -№5-6.- С. 52-57. 2. Богданович Н.И. Адсорбенты из отходов лесопромышленных предприятий для решения экологических проблем (статья) / Изв. высш. уч. завед.. Лесной журнал, 1997, № 4, с.92-96. 3. Место активных углей в экологии и экономике, новые технологии их производства/ Мухин В.М., Курилкин А.А., Воропаева Н.Л., Лексюкова К.В., Учанов П.В. Сорбционные и хроматографические процессы 2016, том 16, №3, 346-353. 4. Р.Р.Зиатдинов, Т.О. Степанова, Д.Ф. Зиатдинова, Р.Г. Сафин, Д.А. Ахметова/ Конвективная сушка измельченной древесины перед термохимическим процессом переработки древесных материалов// Деревообрабатывающая промышленность 2019.-№1.- с.66-73. 5. Р.Р. Зиатдинов, Р.Г. Сафин, Т.О. Степанова, Д.Ф. Зиатдинова, Д.А. Ахметова, Н.М. Терехин/ Непрерывно действующая установка переработки древесных отходов в активированный уголь//Деревообрабатывающая промышленность.- 2019 г.- №4.- С. 90-98. 6. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, Д.Ф. Зиатдинова, Т.О. Степанова/ Конвективная сушка дисперсных материалов Перед термохимическим процессом переработки// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. С. 29-37. 7. Р.Г. Сафин, Т.О. Степанова, Р.Р. Зиатдинов, Д.Г. Рябушкин, В. И. Петров, В.Г. Сотников/ Конструктивный расчет пиролизной зоны установки производства активированного угля// Деревообрабатывающая промышленность. - 2020 г. -№3.- С.45-55. 8. N.F. Timerbaev, R.G. Safin, I.Yu.Mazarov, T.O. Stepanova/ Thermochemical processing of organic waste IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 643.-2019. 9. Safin, R.G., Prosvirnikov D.V., Stepanova T.O./ Processing of Renewable Wood Biomass into Thermally Modified Pellets with Increased Combustion Value//2020 Proceedings of the 5 th international Conference on Industrial Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering 387. 10. Патент РФ № 2694347, 11.07.2019 МПК С 10 В 53/00. Способ получения активированного угля / Р.Г. Сафин [и др.] 11. Р.Г. Сафин, Р.Р. Зиатдинов, В.Г. Сотников, Д.Г. Рябушкин, Д.Р. Гумеров/ Моделирование процесса измельчения и транспортирования органических отходов в установке производства активированного угля/Системы. Методы. Технологии. -2021.- №2. 12. Р.Г. Сафин Технологические процессы и оборудование деревообрабатывающих производств: Учебник. - 4-е изд., испр. и перераб. – Санкт-Петербург: Лань,-2020. - 752 с.

УДК 621

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНОЙ САПР

Тяпков Н. Р., Кузнецов М. К., Буленков Е. А. (кафедра ТМ, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

***Аннотация:** в статье рассмотрен процесс синтеза структуры технологического процесса изготовления изделий угольного машиностроения с использованием облачной САПР. Представлена схема технологической подготовки производства изделий угольного машиностроения.*

***Ключевые слова:** облачная САПР, Индустрия 4.0, структурный синтез, схема технологического процесса.*

Этап технологической подготовки производства позволяет установить какими техническими методами и средствами, а также способами организации производства должно изготавливаться изделие с учетом необходимости повышения производительности, снижения издержек производства, улучшения условий труда и повышения технического уровня изделия [1]. На этом этапе осуществляется проектирование технологического процесса, разрабатываются способы механизации и автоматизации производственных процессов, решаются вопросы организации производства, оснащённости рабочих мест, и пр. В условиях угольного машиностроения, которое представлено изготовлением сложных, дорогостоящих изделий [2], вопросы повышения эффективности технологической подготовки производства, - структурного синтеза рациональных технологических процессов, - становятся особенно актуальными.

Целью выполнения данной работы является разработка методики структурного синтеза технологических процессов изготовления изделий угольного машиностроения при помощи морфологического синтеза вариантов с использованием структурной схемы технической подготовки производства.

Структурная схема технологического процесса изготовления изделий построена для исследования особенностей обработки и поиска новых структур технологических процессов (рис. 1).

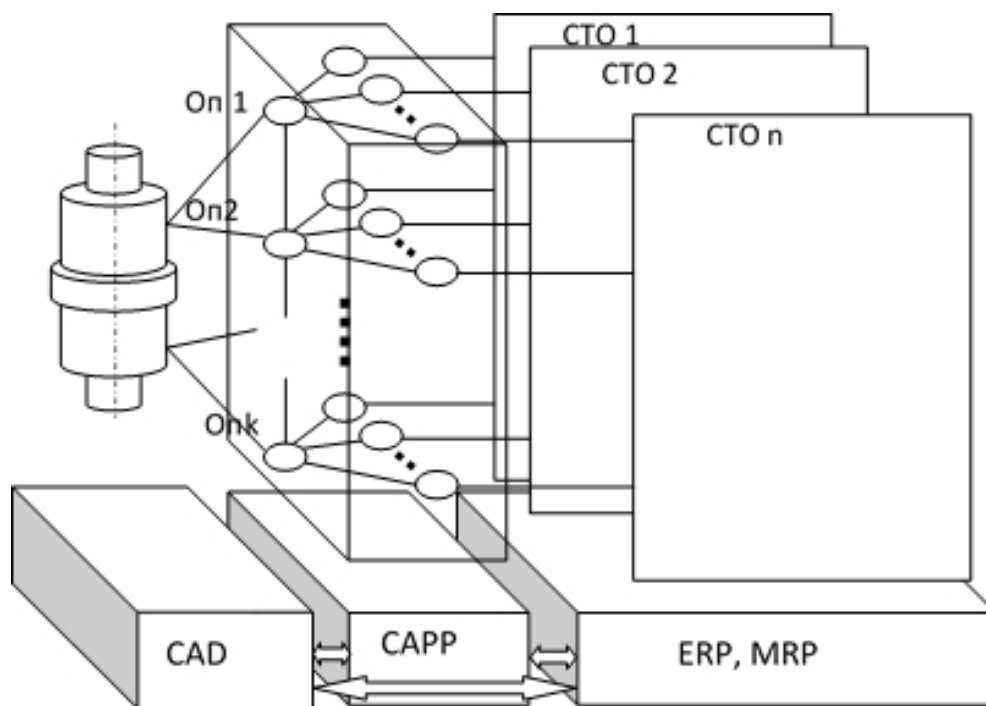


Рис. 1. Схема технической подготовки производства с использованием традиционных САПР

Элементами технологических процессов являются технологические операции, а отношения между элементами – последовательность выполнения операций и время, в течении которого элемент может быть введен в производство (рис. 2).

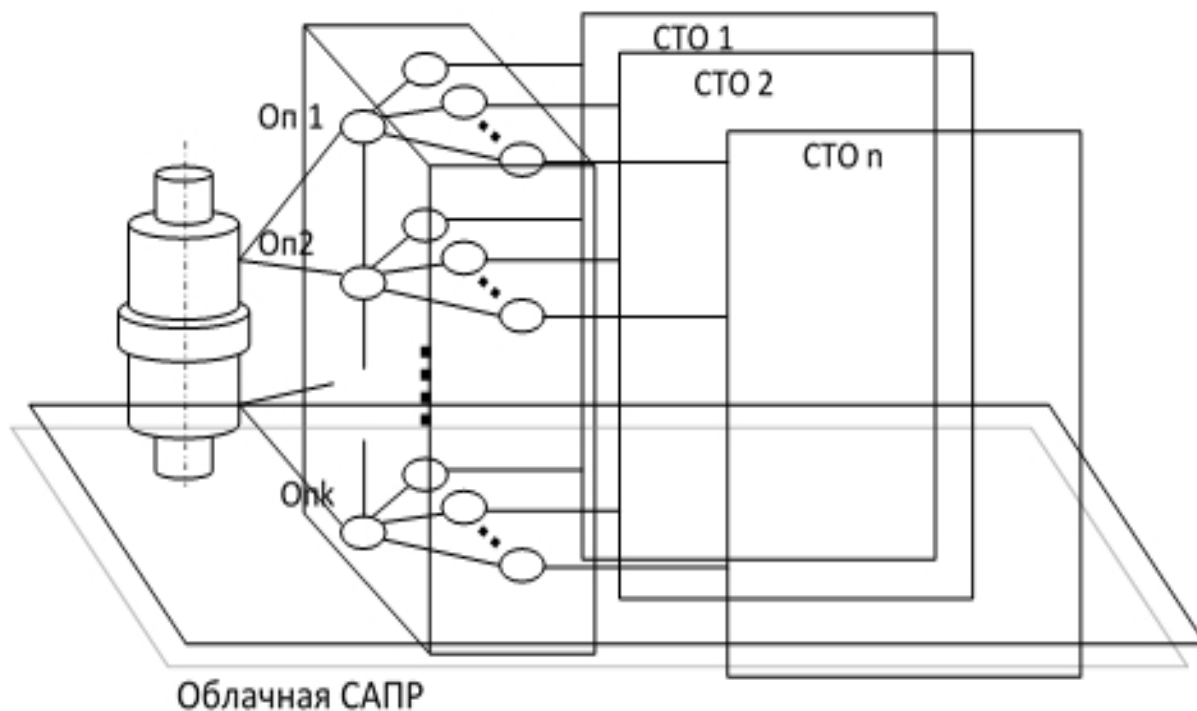


Рис. 2. Схема технической подготовки производства с использованием облачной САПР. СТО 1, СТО 2...- Средства технического оснащения (оборудование, оснастка, инструменты и т.д.); Оп 1, Оп 2 – операции.

Структура технологического процесса изготовления каждого i -го изделия может быть описана такой математической зависимостью [3]:

$$str_{Ti} = \{x_i, e_i\},$$

где str_{Ti} – структура технологического процесса изготовления i -го изделия;
 x_i - множество структурных элементов (операций) технологического процесса изготовления i -го изделия;
 e_i - множество отношений структурных элементов технологического процесса изготовления i -го изделия.

При этом множество структурных элементов технологического процесса изготовления i -го изделия (x_i) описывается выражением

$$x_i = \{x_{i1}, x_{i2} \dots x_{in}\},$$

где x_{ij} - j -й элемент (j -я операция) технологического процесса изготовления i -го изделия;
 n - количество элементов (операций) в технологическом процессе изготовления i -го изделия.

При изготовлении валов-шестерен первыми операциями будет фрезерно-центральная. Последней – шлифование зубьев, а также моечные и контрольные операции.

Множество отношений структурных элементов технологического процесса

изготовления i -го изделия (e_i) имеет такой вид:

$$e_i = \{e_{i1}, e_{i2} \dots e_{i,n-1}\},$$

где e_{ij} - j -й элемент отношений структурных элементов технологического процесса изготовления i -го изделия.

Кроме того, сам технологический процесс изготовления деталей, разработанный в облачной САПР, имеет аналогичную структуру:

$$str_{\theta} = \{\varphi, a\},$$

где str_{θ} - структура технологического процесса изготовления деталей на заводе угольного машиностроения;

φ - множество структурных элементов технологического процесса изготовления деталей на предприятии;

a - множество отношений между структурными элементами технологического процесса изготовления деталей на предприятии.

При этом множество структурных элементов технологического процесса изготовления деталей (φ) описывается выражением

$$\varphi_j = \{\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_n\},$$

где φ_j - j -й элемент технологического процесса изготовления деталей.

Множество отношений структурных элементов технологических процессов изготовления деталей (a) представляется зависимостью

$$a = \{a_1, a_2 \dots a_{n-1}\},$$

где a_j - j -й элемент отношений между элементами технологического процесса изготовления деталей.

Учитывая то обстоятельство, что на каждой операции технологического процесса обрабатывается несколько поверхностей деталей, каждая операция может быть представлена множеством операций по обработке различных поверхностей:

$$\varphi_j = \{X_j, C_j\},$$

где φ_j - j -й элемент (j -я операция) технологического процесса изготовления деталей;

X_j - множество j -х элементов технологических процессов изготовления деталей, входящих в φ_j ;

C_j - множество отношений между j -ми элементами технологических процессов изготовления деталей и φ_j -м элементом технологического процесса изготовления деталей.

При этом множество j -х элементов технологических процессов изготовления деталей, входящих в φ_j , имеет вид:

$$X_j = \{x_{1j}, x_{2j} \dots x_{kj}\},$$

где x_{ij} - j -й элемент технологического процесса изготовления i -го изделия;
 k - количество поверхностей, обрабатываемых на j -й операции, шт.

Множество отношений между элементами технологических процессов изготовления деталей и φ_j –м элементом технологического процесса изготовления деталей определяется зависимостью:

$$C_j = \{C_{1j}, C_{2j} \dots C_{kj}\},$$

где C_{ij} - j -е отношение между j -м элементом технологического процесса изготовления i -го изделия и φ_j -м элементом технологического процесса изготовления деталей.

Таким образом, процесс синтеза структуры технологического процесса изготовления деталей представляет собой перебор вариантов морфологической матрицы, составленной из вариантов конструктивного исполнения различных структурных элементов:

[a₁₁, a₁₂, a₁₃, ...] – варианты доступного технологического оборудования;

[a₂₁, a₂₂, a₂₃, ...] - варианты доступных приспособлений для закрепления деталей;

[a₃₁, a₃₂, ...] – варианты доступных элементов вспомогательной технологической оснастки;

[a₄₁, a₄₂, a₄₃, a₄₄, a₄₅, ...] – имеющиеся на предприятии инструменты для обработки деталей;

[a₅₁, a₅₂, ...] – варианты элементов поверхностей детали;

[a₆₁, a₆₂, a₆₃, a₆₄, a₆₅, ...] – варианты схем обработки и траекторий движения инструмента и т. д.

При этом, количество возможных вариантов обработки отдельных поверхностей деталей будет уменьшаться последовательным наложением ограничений на возможные сочетания элементов.

Таким образом, использование облачной САПР позволяет существенно сократить продолжительность конструкторско-технологической подготовки производства за счет объединения этапов проектирования изделия и проектирования технологического процесса изготовления детали.

Список литературы: 1. Научные основы технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учебное пособие для использования в образовательном процессе образовательных организаций, реализующие программы высшего образования по направлению "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" (уровень бакалавриата и магистратуры) / А.С. Мельников, М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, А.И. Азарова ; под общ. ред. А.С. Мельникова. - 97 Мб. - Санкт-Петербург : Лань, 2018. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. . - Режим доступа: <http://ed.donntu.org/books/19/cd9443.pdf> 2. Сурина Н.В. Технология машиностроения. Технология производства деталей и узлов горных машин. Учебное пособие. /Н. В. Сурина// М.: МИСиС, 2017. – 161 с. 3. Петухов, А.В. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов: учебн. пособие / А.В.Петухов, Д.В.Мельников, В.М. Быстренков; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос.техн. ун-т им П.О Сухого, 2011. – 144 с.

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF THE DYNAMICS OF
ABRASIVE-METALLIC DUST IN A CYCLONE WITH A REVERSE CONE**

Azimova N.N., Bedoidze M.V., Kuptsova I.S., Milev I.Yu.

(DSTU, Rostov-on-Don, Russia)

Tel: +7 (918) 5621485; e-mail: ilya.milev@mail.ru

Abstract: *The study of aerodynamically characteristics of cyclones and its' parametric optimization is performed. The efficiency of mathematical models designed is tested successfully. The results are purposed to provide labor safety with respect to dusting.*

Key words: *Aspiration systems, air flow, mathematical models, optimization.*

In order to effectively collect industrial dust using reverse cone cyclones (RCC) it is necessary to know reliably how the heterogeneous medium flows in different constructions and presets. To determine the RCC aero dynamical qualities in the work an experimental setup is constructed and investigated in different ways [1].

Cyclone type dust collectors “ЦН-15у-300” and “ЦОК-200-300” with equal operation volume are mounted in parallel. To intensify experiments with different cyclones without leakage the alternating opening-closing of windows is implemented. Previous measurements were performed with non-bunkered cyclones with hermetically closed windows. For measurements of pressure in the cyclone's air flow and its velocity a few Pito pipes and differential manometers Testo-521 were placed at entry and outlet sections of experimental construction [1,2].

Model Testo 521-1 manometer measurements are characterized by 0.2% of error with respect to full scale. Thus, at the flow velocity 5 m/s its error is 0,32 m/s, at 50 m/s – 0,05 m/s. Additionally mounted twined membrane eliminates the influence by the gage position on resulting measurements data.

Our investigation of the internal cyclone aerodynamics combines more than 1260 direct measurements which allow to obtain more than 4000 digits in a primary data set. The number and the placement of control points for flow diagnostics are chosen on the base of airflow conductor according to recommendations of standard “ГОСТ 12.3.018-79” (see fig. 1).

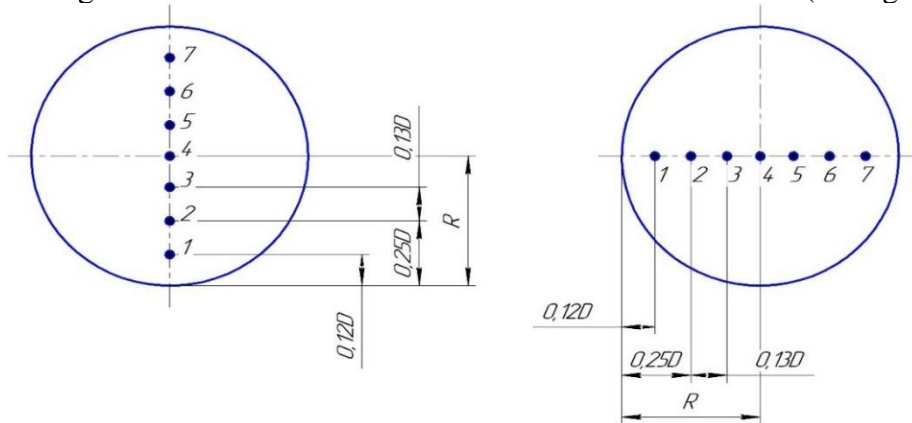


Fig. 1. Position of diagnostics points at inlet (left) and outlet (right) of the flow conductors

Since the diameter of flow conductors equals 200 mm, all base measurements points are chosen at $0,12 D$ (1) and $0,5 D$ (4) distance from the wall. Four additional diagnostics points

placed at $0,25 D$ (2-nd and 6-th) and $0,38 D$ (3-rd и 7-th) from the wall are used to improve the measurements accuracy.

The airflow is initiated by radial propeller ROVEN VCZpl-250 attached to outflow. The propeller's mode was set by electronic module. After the stabilization of the flow within our cyclones the following parameters are measured at both air conductors: total, static and dynamic pressure, airflow's velocity and yield. For reliability all measurements are performed 30 times in 3 regimes of propeller ($n_1 = 1710 \text{ min}^{-1}$, $n_2 = 2250 \text{ min}^{-1}$, $n_3 = 2850 \text{ min}^{-1}$). These regimes correspond to following volume yield: for «ЦН-15у-300» $n_1 = 424 \text{ m}^3/\text{h}$, $n_2 = 558 \text{ m}^3/\text{h}$, $n_3 = 685 \text{ m}^3/\text{h}$ and $n_1 = 516 \text{ m}^3/\text{h}$, $n_2 = 660 \text{ m}^3/\text{h}$, $n_3 = 814 \text{ m}^3/\text{h}$ for «ЦОК-200-300». After respective preparation our results of airflow diagnostics are shown in fig. 2-3.

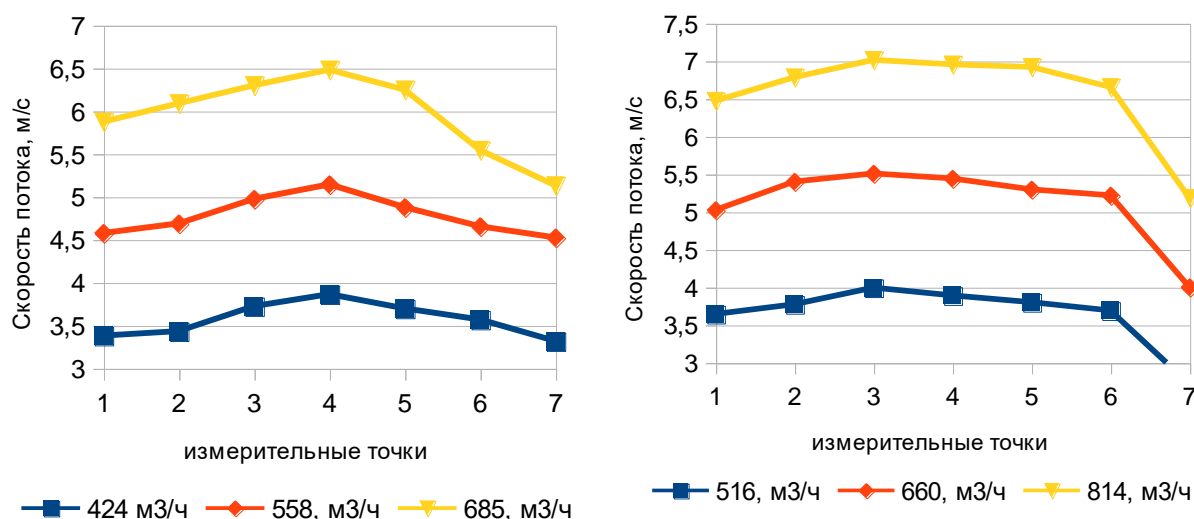


Fig. 2. Airflow velocity at inlet conductor of «ЦН-15у-300» (left) and «ЦОК-200-300» (right) for different regimes of propeller

The structure of velocity distribution in the turbulent air within the cyclone «ЦН-15у-300» corresponds well to widely-known power law [3]. According to this law, the velocity of flow in the point displaced from the axes at distance r equals:

$$v(r) = v_{\max} \cdot (1 - r/R)^m, \quad (1)$$

where v_{\max} – the maximal flow velocity; R – the pipe radius; m – an empirical parameter of the model. Equation (1) means that the averaged flow velocity in considered pipe equals:

$$\langle v \rangle = \int v_{\max} \cdot (1 - r/R)^m r dr / \int r dr = 2 \cdot v_{\max} / (2 + 3 \cdot m + m^2). \quad (2)$$

Initialized by mathematical programming technique [4] on the base of fig. 2-a data model (1) obtains the complete form:

$$v(r) = v_{\max} \cdot (1 - r/R)^{0.1037}, \quad 3.9 \leq v_{\max} \leq 6.5 \text{ m/s}. \quad (3)$$

The error level of this model shown in fig. 3 (left) suggests that the airflow in the inlet flow conductor «ЦН-15у-300» is quite axy-symmetric, i.e. corresponds reliably to model (1)-(2).

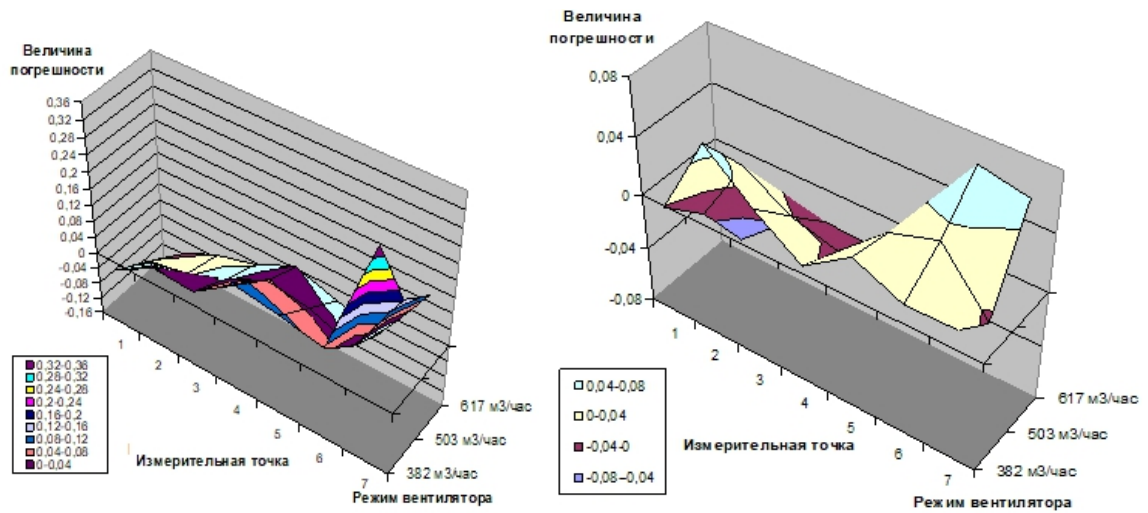


Fig. 3. The model (1) discrepancy for determination of velocity field in the inlet conductor of «ЦН15у-300» (left) and «ЦОК-200-300» (right)

Similar result is obtained for «ЦОК-200-300»-cyclone, but it is found that the flow field is significantly less axial symmetrical. Nevertheless, the empirical parameter m in equation (1) for the construction is equal to 0.145 and the ratio $v_{\max}/\langle v \rangle$ - to 1.227. This fact evidences on the identity of the turbulent microstructure of the flow in both constructions.

The dynamic resistance coefficient for «ЦН-15у-300» and «ЦОК-200-300» cyclones is calculated according to energy conservation law:

$$\xi_{ex} = \frac{2\Delta P_{\Pi}}{\rho \cdot V_{ex}^2}, \quad (4)$$

where ξ_{ex} – the dynamic resistance coefficient; V_{ex} – the velocity in the inlet air conductor, м/с; ΔP_{Π} – the pressure decrement, Па; ρ – the air density. Computed according (4) distribution ξ_{ex} (Q) through the tube section for «ЦН-15у-300» and «ЦОК-200-300» cyclones is shown in fig. 4.

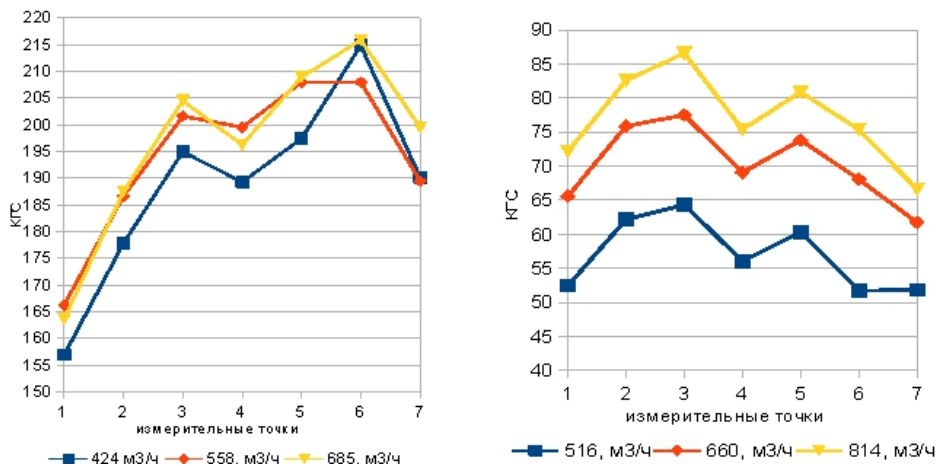


Fig. 4. Dynamic resistance coefficient for cyclones «ЦН15у-300» (left) and «ЦОК-200-300» (right) at different propeller modes

Dynamic resistance coefficient for cyclones «ЦН15у-300» is expressed by approximate formula:

$$\xi_{ax}(N, Q) = 1,0246 \cdot (466,33 - 734,33 \cdot N + 640,87 \cdot N^2 - 258,45 \cdot N^3 + 53,086 \cdot N^4 - 5,3819 \cdot N^5 + 0,2134 \cdot N^6) \cdot [1 - e^{-Q/138,3}], \quad (5)$$

where N – the number of diagnostics point; Q – расход m^3/h . The relative error associated with approximation (5) is found doesn't exceed 4 % (fig. 5, left).

Respective result for «ЦОК-200-300» is the following:

$$\xi_{ax}(N, Q) = 1,589 \cdot (318,67 - 614,98 \cdot N + 545,85 \cdot N^2 - 229,1 \cdot N^3 + 49,266 \cdot N^4 - 5,2458 \cdot N^5 + 0,219 \cdot N^6) \cdot [1 - e^{-Q/673,5}], \quad (6)$$

its error seems within 5 % as well (fig. 5, right).

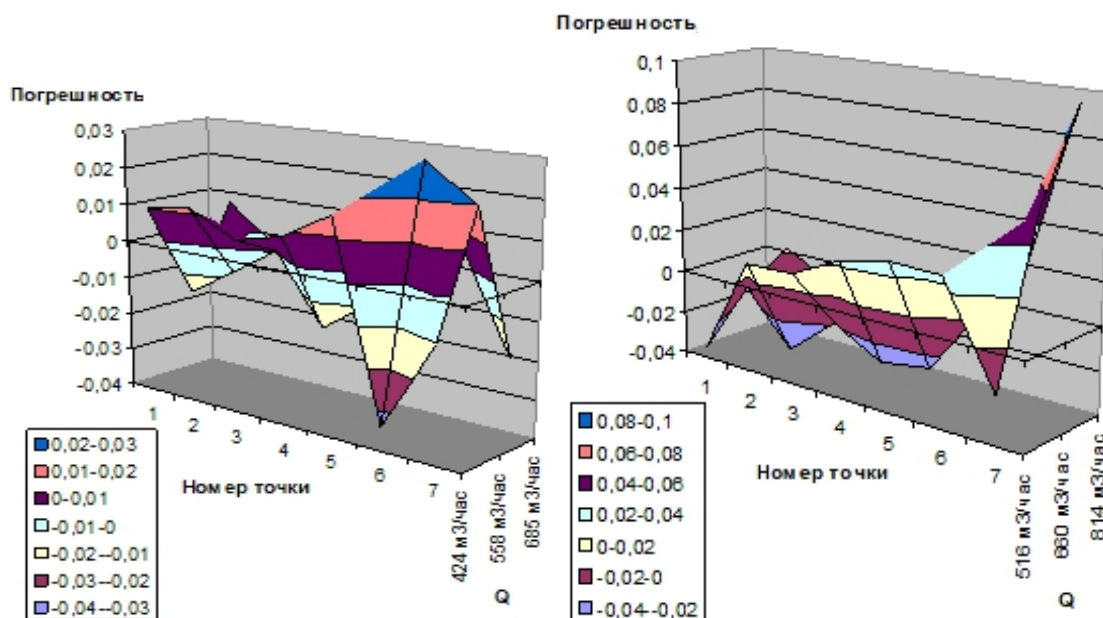


Fig. 5. Relative error of approximations (5) and (6) for experimental data fig. 4: «ЦН-15у-300» (left) and «ЦОК-200-300» (right)

Thus, the dynamic resistance for «ЦОК-200-300» is $2 \div 2,2$ times than the one for the «ЦН-15у-300» cyclone. Such difference is probably due to more intensive air motion within the «ЦОК-200-300».

Next, the dust collection efficiency by different type cyclones is investigated experimentally. The bunker volume varied within 5 – 30 L [1,2]. Dust particles, often spotted close to rail cutting (steel-abrasive, size 40 – 315 mkm) are used. The air yield is chosen as 27 m^3/h , i.e., corresponding to rail cutting by abrasive disk. It is found that the conic cyclone is more efficient than cylindrical one. Fur their more it increases with ratio of bunker to operating volume. Mentioned results are expressed in mathematical terms:

$$\eta(V_6/V_{II}, d) = 100 \cdot \{1 - \exp[-(V_6/V_{II})^{0,0758} \cdot (d/4,78)^{0,4168}]\} \quad (7)$$

for conic cyclone and

$$\eta(V_6/V_{II}, d) = 100 \cdot \{1 - \exp[-(V_6/V_{II})^{0,068} \cdot (d/6,23)^{0,344}]\} \quad (8)$$

for cylindrical one. Both (7) and (8) formulae are strict within 6 %.

Finally, the relation between the cyclone efficiency and outlet air conductor deepness is studied. The experiment is performed in conditions of rail by disk cutting. The mathematical generalization of results obtained experimentally is the following:

$$\eta(\Gamma, d) = 100 \cdot \{1 - \exp[-(d/(12.18 + 0.00028 \cdot (\Gamma - 304.2)^2)^{0.574}]\} , \quad (9)$$

where Γ – the deepness of the outlet air conductor in the cyclone body.

Formula (9) enables to optimize the deepness of outlet conductor into the cyclone construction at value of $\Gamma = 304$ mm.

Summary

In thoroughly planed experiments all important parameters of airflow in conic as well as cylindrical cyclones (pressure and velocity fields) are investigated. All experimental results are generalized and explained.

In particular it is found that the RCC «ЦОК-200-300» is twice more efficient with respect to cylindrical one. The result is explained by more developed turbulence in this construction. In addition, elaborated construction of RCC is optimized basing on our research data.

References: 1. Азимова, Н. Н. Сравнительный анализ аэродинамических характеристик центробежных пылеуловителей при проведении параллельных сравнительных испытаний / Н. Н. Азимова, Ю. И. Булыгин, И. С. Купцова // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – Т. 17, № 3 (90). – С. 156-165 2. Азимова Н.Н. Снижение концентрации пыли и уровней шума в рабочей зоне при абразивной резке / Дисс. канд. технич. наук. Ростов н/Д., 2020. 165 с. 3. Пирумов, А. И. Аэродинамические основы инерционной сепарации. – М.: Госстройиздат, 1961. – 124 с. 4. М.Г. Зиганшин Проектирование аппаратов пылегазоочистки. – М.: Экопресс – 3М, 1998. – 505 с. 5. Minoux, M. Mathematical Programming: Theory and Algorithms. – New York: John Wiley, 1986. – 489 p.

УДК 621

MATHEMATICAL MODELING OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE NOISE ARISING DURING THE OPERATION OF THE SAW TOOL

Azimova N.N., Bedoidze M.V., Milev I.U., Fomich M.V.

(DSTU, Rostov-on-Don, Russia)

Tel: +7 (928) 1119068; E-mail: nokia10110@mail.ru

Improving working conditions is an important governmental task. In modern production, cutting tools are widespread: they are used for machining materials. Cutting is accompanied by the impact on the operator of negative factors of physical and chemical nature, the main of which are noise, vibration and dust particles. For woodworking machines of the saw group, strong noise and dustiness of the air are the main factors of hazard in the workplace. An effective way to protect operators, while ensuring the normalization of the working

environment, both in terms of noise and dust, are the so-called combined solutions, a good example of which is the protective cover of a rail-cutting machine [1].

However, such solutions for circular saws woodworking machines have not been worked out. Hence, Mathematical modelling, prototyping and technical experiment are a triad on the basis of which the all-round efficiency of modern technology is ensured already at the design stage. This fully applies to the parameters of the processing tool related to production and environmental safety.

The aim of the study is to adequately describe the forced vibrations of a circular saw (CS) of a large diameter and the noise pollution of the working area corresponding to these vibrations, using mathematical models and basing on computer experiments.

In the industry, various sawing machines are used. They are divided into 2 main types [2]: 1) with a reciprocating motion and 2) with a blade in the shape of a circle (disc or circular). When processing wood, the diameter of circular saws reaches 1.5 meters with a thickness of about 2 mm, and the dimensions of the teeth are 2-3 cm. Cutting is accompanied by a periodic impact on the edge of the disk, in which vibrations are excited, causing technological noise. Knowledge of its parameters in connection with the nature of the impact and the features of a particular mode is necessary for the design of standardized conditions of the production environment within the established СН and СанПиН [3,4]. The general model of free disk vibrations is as follows:

$$\frac{\partial^2 F(r, \varphi, t)}{\partial t^2} + \varepsilon \frac{\partial F(r, \varphi, t)}{\partial t} + \frac{\varepsilon^2}{4} F(r, \varphi, t) + \frac{D}{\rho h} \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]^2 F(r, \varphi, t) = 0, \quad (1)$$

where $F(r, \varphi, t)$ - displacement of the plate; ε - attenuation coefficient; r - distance from the centre ($0 \leq r \leq R$); φ is the angle measured from the equilibrium position ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$); ρ - density of the material (in our case steel); t - time . $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ is the so-called cylindrical stiffness; where E is the Young's modulus; h is the thickness of the plate; $\mu \approx 0.25 \div 0.3$ is the Poisson's ratio. This model does not take into account two important circumstances in some cases: 1) the annular geometry of real saw blades and 2) sound generation with the workpiece during cutting, the effect of which is considered in a very detailed study [5]. The first term in equation (1) corresponds to the acceleration of all points of the plate at each moment of time. Each point of the plate is specified by a pair of numbers (r, φ) . Acceleration here is the result of the action of the bending force per unit mass of the plate. The second term corresponds to the force of viscous thorns, which is proportional to the speed of the plate movement. The third term is artificially introduced to separate variables using the replacement.

$$F(r, \varphi, t) = G(r, \varphi, t) e^{-\frac{\varepsilon}{2}t} . \quad (2)$$

Substituting (2) into (1) we obtain:

$$\frac{\partial^2 G(r, \varphi, t)}{\partial t^2} + \frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)} \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]^2 G(r, \varphi, t) = 0 . \quad (3)$$

Physical estimates of the disk vibration parameters show that the value ε is small and

$$F(r, \varphi, t) = G(r, \varphi, t) . \quad (4)$$

Model (3) describes free oscillations of the saw blade, and the description of the real cutting process requires adding to it a source $f(r, t)$ of shock excitation from the side of the cutting surface (teeth).

To find a general solution to equation (3), we represent in the form:

$$G(r, \varphi, t) = \mathbb{R}(r) \cdot \Phi(\varphi) \cdot T(t) . \quad (5)$$

Considering the vibrations to be harmonic

$$T(t) = \cos \omega t . \quad (6)$$

Lower the number of variables:

$$\left\{ \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]^2 - \frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2} \cdot \omega^2 \right\} (\mathbb{R}(r)\Phi(\varphi)) = 0 . \quad (7)$$

It is known that the bi-harmonic operator is factorizable, that is, (7) can be “split” into two equations:

$$\begin{cases} \left(\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right] - \sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \omega \right) (\mathbb{R}(r)\Phi(\varphi)) = 0 \\ \left(\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right] + \sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \omega \right) (\mathbb{R}(r)\Phi(\varphi)) = 0 \end{cases} . \quad (8)$$

It can be shown that the general solution to problem (8) has the form:

$$\mathbb{R}(r) = \sum_{n=0}^{\infty} \mathbb{R}_n(r) , \quad (9)$$

Where

$$\mathbb{R}_n(r) = \mathbb{R}_n^+(r) + \mathbb{R}_n^-(r) = C_{1n} I_n \left(\sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \cdot \sqrt{\omega} \cdot r \right) + C_{2n} J_n \left(\sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \cdot \sqrt{\omega} \cdot r \right) \quad (10)$$

where $J_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos(x - \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{2}n)$ - Bessel function of the first kind; $I_n(x) \sim \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}}$ - modified Bessel function of the first kind (Infeld function) [6].

The particular solutions we are interested in meet the rigid sealing of the saw blade on the spindle which corresponds to the elimination of angular vibrational modes. In this case, free vibrations of the disk are similar to vibrations of an elastic rod rigidly embedded on one side and are described by the equation

$$\left\{ \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right]^2 - \frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2} \cdot \omega^2 \right\} (\mathbb{R}(r)) = 0 , \quad (11)$$

and the forced ones - by the equation

$$\left\{ \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right]^2 - \frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2} \cdot \omega^2 \right\} (\mathbb{R}(r)) = f(r) . \quad (12)$$

Considering the regime established as a result of external action on the saw blade in the form

$$f(r) = \delta(r - R) , \quad (13)$$

we obtain a particular solution (12)

$$G(r, t) = \frac{1}{4\pi^2} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mathbb{R}_n(R)}{\omega_n^2 - \omega^2} \right] e^{-2\pi i \omega t} , \quad (14)$$

where, ω - frequency of impact with a teeth.

Under perturbation (13), the technological noise spectrum is described by the dependence

$$\left(\frac{\mathbb{R}_n(R)}{\omega_n^2 - \omega^2} \right)^2 (\omega_n) . \quad (15)$$

With typical parameters of the equipment and process and limiting the frequency range according to requirements [3-5]

$$R \approx 0.7\text{M}, h \approx 2\text{MM}, E = 200 \cdot 10^9 \frac{\text{KГ} \cdot \text{M}}{\text{M}^2 \cdot \text{C}^2}, \rho = 7800 \frac{\text{KГ}}{\text{M}^3}, \mu = 0.25$$

$$\omega = \frac{\lambda^2}{R^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)}} = \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}} \frac{h\lambda^2}{R^2} = \left\{ \begin{array}{l} R \approx 0.7\text{M} \\ h \approx 2\text{MM} \\ E = 200 \cdot 10^9 \frac{\text{KГ} \cdot \text{M}}{\text{M}^2 \cdot \text{C}^2} \\ \rho = 7800 \frac{\text{KГ}}{\text{M}^3} \\ \mu = 0.25 \end{array} \right\} =$$

$$\sqrt{\frac{200 \cdot 10^9 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}}{12 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (1 - 0.25^2)}} \cdot \frac{0.002}{0.7} \lambda^2, \quad (16)$$

$$\omega_0 \approx 4,3 \frac{1}{\text{с}} = 2\pi f_0 \quad f_0 = \frac{4,3}{2\pi} = 0,69 \text{Гц}.$$

In practice, it is sufficient to restrict the consideration to hundreds of radial vibrational modes: $31,25 \text{ Hz} \leq f < 8000 \text{ Hz}$, $31,25 \text{ Hz} \leq f_0 \lambda^2 < 8000 \text{ Hz}$, $43 \leq \lambda^2 < 11600 \Rightarrow 6,5 < \lambda < 108$

The results of the corresponding computer simulation at the exciting frequency $\omega = 1000, 2000, \dots, 5000 \text{ Hz}$ are shown in the Fig. According to our calculations, the spectrum of technological noise in this case is relatively narrow-band and is determined by the frequency of impact on the saw blade. At the same time, with an increase in the cutting speed (rotation frequency), the noise becomes more highly-frequenced, which aggravates the negative sanitary situation at the workplace.

A simple mathematical model of free oscillations of a circular saw blade in the form of a fourth-order differential equation has been constructed. The model takes into account the main mechanisms of oscillations and damping. It is investigated using analytical and numerical methods under various boundary conditions. All critical numerical parameters of the model are estimated and it is shown that to calculate the noise from the saw blade. It is necessary to take into account approximately 100 oscillatory modes. The noise spectrum of a circular saw is synthesized at various cutting conditions and its rational explanation is given.

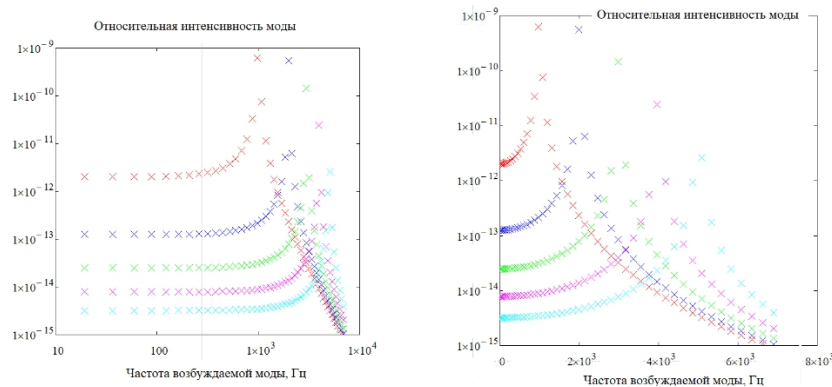


Fig. 1. Influence of the rotational speed of the circular saw on the noise spectrum

References: 1. Азимова Н.Н. снижение концентрации пыли и уровней шума в рабочей зоне при абразивной резке / дисс. канд. технич. наук. Ростов н/д., 2020. 165 с. 2. Мельников И.В. круглопильные и ленточнопильные станки, 2012. 31 с. 3. СН2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы СН от 31.10.1996 п. 2.2.4/2.1.8.562-96. 4. СП 51.13330.2011 защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением п. 1). 5. Старжинский В.Н., Завьялов А.Ю., Совина С.В. Теоретические положения излучения шума пильным диском при резании древесины // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. 6. Морз Ф. Колебания и звук. Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. 495 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Ашихмин Д.В., Бараниченко В.В., Масленский В.В., Павликов А.В. МОДЕЛЬ РАДИАЦИОННОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КАБИНЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН	3
Бариев И.И., Хубатхузин А.А. МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ В ВЧ РАЗРЯДЕ ПРИ БЕЗРАСХОДНОМ РЕЖИМЕ	9
Белозеров М.А., Лебедев В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ ПРОЦЕССА ВИСО НА ОСНОВЕ МО- ДАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИНТЕЗИРУЕМЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ	11
Голубов В.О., Мироненко Н.О., Гусев В.В., Цокур В.П. МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ТОКАРНОГО СТАНКА ВТ-16	14
Горобец И.А., Игнатов А.Д., Горбань В.В. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ИЗ КАМНЯ	18
Горобец И.А., Киселица Д.О., Жарких Д.С. КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СТРУКТУР МЕХАНИЗМОВ 3D ПРИНТЕРОВ	22
Лахин А.М. Глущенко Д.А. ПРИМЕНЕНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	27
Михайлов Д.А., Михайлов А.Н., Шейко Е.А., Куликович Н.Д., Антонюк Д.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗНОСА СТРУКТУРЫ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД	30
Поветкин В.В.¹, Букаева А.З.², Нурмуханова А.З.¹, Керимжанова М.Ф. ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ И ОБРАБОТКИ БЛОЧНОГО КАМНЯ ИЗ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД	34
Шарипов В.А, Грешникова В.В., Петряева И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТОЧЕНИИ С УЧЕТОМ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА	42
Шарипов В.А, Грешникова В.В., Петряева И.А. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С ПОКРЫТИЯМИ	49

Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Ланкин К.А., Мифтахов Р.А. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕТОРТ	52
Тяпков Н. Р., Кузнецов М. К., Буленков Е. А. СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНОЙ САПР	55
Azimova N.N., Bedoidze M.V., Kuptsova I.S., Milev I.Yu. EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF THE DYNAMICS OF ABRASIVE-METALLIC DUST IN A CYCLONE WITH A REVERSE CONE	60
Azimova N.N., Bedoidze M.V., Milev I.U., Fomich M.V. MATHEMATICAL MODELING OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE NOISE ARISING DURING THE OPERATION OF THE SAW TOOL	64

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи до 3 страниц формата А4 (210x297 мм) с полями: **верхнее и нижнее 30 мм, левое и правое 25 мм.** Рукопись статьи оформить с применением редактора WinWord шрифтом Times New Roman размером 12ю распечатать в двух экземплярах с высоким качеством печати

2. Порядок оформления. Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: УДК, название, фамилии и инициалы авторов, сокращенное название кафедры и организации, города, страны, основной текст, выводы, список литературы. Название печатать прописными (жирными) буквами, без переносов, центрировать. Через 1 пустую строку строчными буквами – фамилии и инициалы авторов (жирными), рядом в круглых скобках курсивом – сокращенное название кафедры и организации, города, страны (строку центрировать). Через 1 пустую строку – материалы статьи (язык изложения – по выбору авторов), межстрочный интервал 1, **с переносом слов.** См. образец оформления материалов.

3. Формулы и математические знаки должны быть понятны. Показатели, степени и индексы должны быть меньше основных знаков и выполняться в соответствии с редактором формул Microsoft Equation. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля) только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом должен выполняться один интервал. Формулы выполняются курсивом.

Размер Формул Для Microsoft Equation

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	10 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс).....	8 pt
Symbol (крупный символ).....	12 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	10 pt

4. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует выполнять размерами не менее 60x60 мм внедренными объектами (по ходу материалов). Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Под каждым рисунком указывается его номер и название, например: «Рис. 3. Схема устройства.» Рисунки отделяются от основного текста интервалом.

5. Таблицы должны иметь названия и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту, например: «Таблица 2. Классификация муфт.» Таблицы отделяются от основного текста интервалом.

6. Список литературы должен быть приведен в конце статьи в соответствии с образцом. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Материалы, не отвечающие перечисленным требованиям, а также поступившие в редакционную коллегию с опозданием, опубликованы не будут.

Образец оформления материалов:

УДК 621.01(06)

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

(пустая строка)

Иванов И.И., Петров П.П. (гр. ИТМ-14, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

(пустая строка)

Аннотация. В статье приведены данные по структурному синтезу сборочных уравнений описывающих процесс сборки изделий. (курсив, 6 ...8 строк)

Ключевые слова: структура технологии, синтез, процесс, сборка. (курсив, 5 слов)

(пустая строка)

1. Введение

Во введении необходимо представить литературный обзор современного состояния вопроса исследования, показать актуальность работы, поставить цель и определить задачи исследований (0,5 страницы).

(пустая строка)

2. Основное содержание и результаты работы

Для сборки изделий широко применяются технологические системы [1]

.....

..... информационные и другие потоки (рис. 5) могут быть описаны

(пустая строка)

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

..... отличительной особенностью данной методики.

(пустая строка)

Список литературы: 1. Ким И. П. Исследование эффективности роторных машин / И.П. Ким. – К.: КПИ, 1985. – 123 с. 2. Устюгов А. В. Надежность технологических машин / А. В. Устюгов. – Донецк: ДонНТУ, 1998. – 425 с.

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Редакционная коллегия журнала «Инженер», кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, ДНР, РФ.

Тел. моб.: +7 949 3060879

E-mail: tm@fimm.donntu.ru или mntk21@mail.ru <http://tm.donntu.ru>

Председатель редакционной коллегии – А. Н. Михайлов, тел. моб.: +7 949 3060879.

Зам. председателя – Е. А. Чернышев

Ученый секретарь – А.М. Лахин