

с цилиндрическими роликами. Это объясняется тем, что при работе передачи с качающимися роликами возникают значительные силы трения скольжения между роликами, сателлитами и центральным диском.

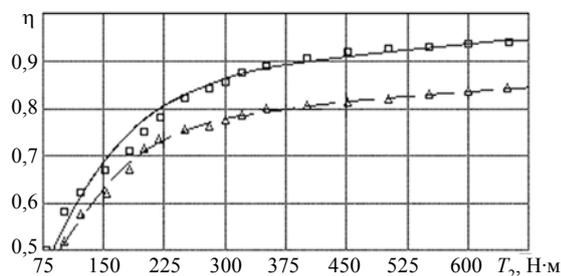


Рис. 5. Экспериментальная зависимость КПД от величины вращающего момента на выходном валу передачи:  
 — с цилиндрическими роликами;  
 - - - с качающимися роликами

Использование качающихся роликов уместно при повышенных требованиях к массогабаритным показателям, нагрузочной способности и при периодиче-

ском режиме работы передачи, так как в противном случае ее работа может сопровождаться выделением большого количества теплоты.

На основании выполненного экспериментального исследования двух конструкций передачи типа *K-H-V* с роликовыми механизмами снятия движения с сателлита следует сделать вывод о целесообразности использования таких передач в составе тяжело нагруженных малогабаритных приводов.

#### Библиографические ссылки

1. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н., Гинзбург Е. Г. Планетарные передачи : справочник. — Л. : Машиностроение, 1977. — 563 с.
2. Плеханов Ф. И., Глебов С. В., Перминов Л. П. Геометрия внутренних зацеплений планетарной передачи с малой разницей чисел зубьев колес // Известия вузов : Машиностроение. — 2013. — № 1. — С. 22–26.
3. Пат. 2460917, РФ, МПК F16H 1/32. Планетарная передача / Ф. И. Плеханов, А. В. Овсянников. — Оpubл. 10.09.2012, бюл. № 25.
4. Пат. 2475662, РФ, МПК F16H 1/32. Планетарная передача / Ф. И. Плеханов, Л. П. Перминов. — Оpubл. 20.02.2013, бюл. №5.

A. V. Ovsyannikov, Glazov Institute of Engineering and Economics, Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
 L. P. Perminov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Experimental Determination of Efficiency of *K-H-V* Planetary Transmissions with Roller Mechanisms for Torque Absorption from the Satellite

The results of the experimental research of efficiency of *K-H-V* planetary transmissions with cylindrical and oscillating rollers of the mechanism for torque absorption from the satellite are presented.

**Key words:** planetary transmission, internal engagement, roller mechanism for torque absorption from the satellite, testing stand, efficiency.

УДК 621.914.22 - 216:658.531.011.56

С. С. Кугаевский, кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург  
 Е. А. Еремина, аспирант, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург  
 Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ СЛОЖНОСТИ

Рассмотрено применение теории сложности для расчета прогнозной трудоемкости механической обработки. Рассмотрена обработка корпусных деталей из алюминиевых сплавов. Разработаны новые математические модели расчета сложности обработки конструктивно-технологических элементов. Получены результаты адаптации моделей для действующего производства.

**Ключевые слова:** теория сложности, поэлементная технология, прогнозирование трудоемкости.

Для предприятий важнейшими внешними параметрами, в том числе и при обосновании норм труда, является спрос на продукцию, его объем и уровень цен. Рыночная экономика требует от производителя умения четко и правильно реаги-

ровать на изменения ситуации на рынке, быстро вносить коррективы в производственный план, планировать организационно-технологические процессы, правильно выбрать поставщиков и т. д. Возникает необходимость прогнозировать трудоемкость изго-

товления деталей и изделий на стадии конструкторской проработки. Расчет норм на основе готового технологического процесса на этом этапе невозможен. Его просто нет. Определение плановой трудоемкости через коэффициент приравнивания к старым изделиям-представителям на основе функционального анализа дает завышенную трудоемкость, так как старые изделия изготавливались на менее производительных станках. В условиях технического перевооружения производства старые детали также переводятся на высокопроизводительное оборудование. Таким образом, существующие методы экономико-технологического планирования работы предприятия имеют большие неточности и снижают конкурентоспособность предприятия.

С целью обеспечения оперативного прогнозирования трудоемкости обработки деталей профессором Шариным Ю. С. создана теория сложности [1]. В соответствии с этим методом расчет сложности механической обработки деталей можно производить с использованием формулы

$$C = C_k \cdot K_p \cdot K_m \cdot K_{заг} \cdot K_T \quad [EC], \quad (1)$$

где  $C_k$  – конструктивная сложность детали;  $K_p$ ,  $K_m$ ,  $K_{заг}$ ,  $K_T$  – безразмерные технологические коэффициенты, учитывающие размеры, материал, состояние заготовки и технологичность конструкции.

Коэффициент технологичности детали рассчитывается по формуле, где символом  $\beta_i = \frac{T_i}{T_{баз}}$  обозначены весовые коэффициенты сложности отдельных конструктивных элементов:

$$K_T = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n}{n}. \quad (2)$$

Предлагаемый подход к определению прогнозной трудоемкости основан на представлении обрабатываемой детали как совокупности конструктивно-технологических элементов (КТЭ). Для корпусных деталей выделяются КТЭ типа «карман», «уступ», «окно», «паз», «стенка», «отверстие», «поверхность». Влияние совокупных свойств детали, таких как материал, жесткость, вид и размер заготовки, учитываются с помощью коэффициентов. Сложность изготовления геометрических форм конструктивных элементов учитывается через коэффициент технологичности. Нами проанализированы типовые технологические шаблоны обработки базовых КТЭ и сформулирован набор параметров, влияющих на трудоемкость их изготовления. Полный набор параметров, характерных для фрезерной обработки, перечислен в работе [2].

В представленной работе рассматривались операции обработки наружных и внутренних стенок на фрезерных станках с ЧПУ (рис. 1, 2).

В работе [3] описаны математические модели для определения сложности обработки базовых КТЭ, в которых в качестве ключевых параметров приняты перечисленные геометрические характеристики кон-

туров. Эти математические модели рассчитаны на основе рекомендаций справочника [4] и позволяют получить вполне корректную сходимость результатов с реальными производственными нормами. Для проверки адекватности этих моделей выполнялся статистический анализ конкретного производства.

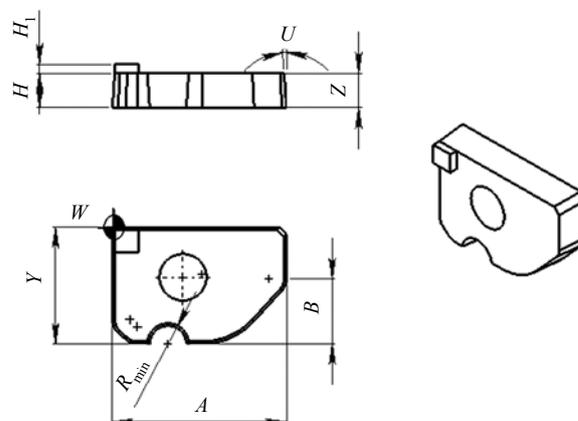


Рис. 1. Эскиз КТЭ «стенка», имеющего наружный обрабатываемый контур

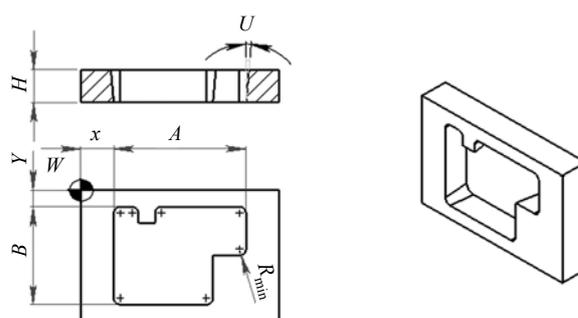


Рис. 2. Эскиз КТЭ «окно», имеющего внутренние стенки

Однако упомянутые математические модели построены только для стальных заготовок. Например, для деталей из алюминиевых сплавов сложность обработки рассчитывалась только через коэффициенты обрабатываемости. Для реальных производственных условий это ограничение дает большую погрешность. Выполненное теоретическое исследование, представленное в данной статье, учитывает особенности обработки цветных материалов. В результате получены новые математические модели (3), (4), которые дополняют созданные ранее и могут быть использованы для определения прогнозной трудоемкости приборостроительного производства.

**Трудоемкость обработки наружного контура («стенка»)**

$$T = P \cdot H \cdot [9,18 \cdot 10^{-4} \cdot R_{\min}^{-0,12} \times (4R_{\min} - 0,5)^{0,63} \cdot 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot R_{\min}^{-0,11}], \quad (3)$$

где  $P$  – периметр контура, мм;  $H$  – высота, мм;  $R_{\min}$  – минимальный внутренний радиус криволинейного контура из условий чертежа (для наружного контура, не имеющего внутренних углов, принимаем  $R_{\min} = H/2$ ).

### Сложность обработки «окна»

$$T = 1,34 \cdot 10^{-4} \cdot H^{0,73} \cdot R_{\min}^{-1,41} + 4,7 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot H \times \\ \times R_{\min}^{0,03} \cdot (2R_{\min} - 0,5)^{0,35} + 2 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot H^{0,99} R_{\min}^{-1,27}, \quad (4)$$

где  $P$  – периметр «окна», мм;  $H$  – высота, мм;  $R_{\min}$  – минимальный радиус в углах, мм.

Статистическая проверка моделей для условий производственного участка одного из приборостроительных заводов г. Екатеринбурга показала возможность их использования для прогнозирования трудоемкости механической обработки. Действительные нормы времени обработки на станке с ЧПУ получены из управляющих программ. Получено уравнение регрессии с доверительной вероятностью

$$P(5,17 \langle X(6,8) \rangle = 0,95).$$

Диаграмма рассеивания представлена на рис. 3.

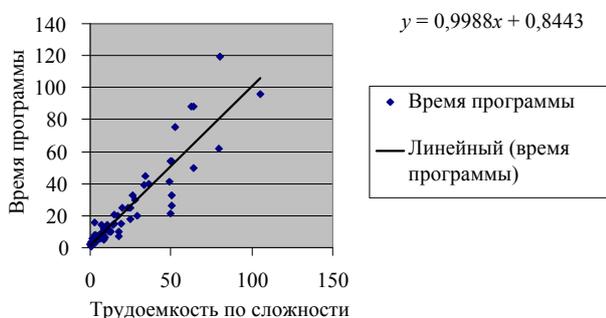


Рис. 3. Диаграмма рассеивания  $T = f(C)$

и вид линии регрессии для участка обработки корпусов

Второй задачей, решаемой методом оценки сложности, является определение неэффективных техпроцессов. Точки, расположенные на рис. 3 выше линии регрессии, говорят о том, что имеется резерв для уменьшения машинного времени.

### Некоторые выводы

1. В статье представлены результаты исследования, сделанные на базе анализа данных о фактической трудоемкости обработки корпусных деталей из цветных материалов. Рассчитаны математические модели определения сложности детали, выведено уравнение регрессии для данного производства.

2. При использовании полученных математических моделей возможно производить расчет прогнозной трудоемкости новых деталей, планируемых к производству на данном участке, используя только конструктивные параметры КТЭ.

3. Для сокращения затрат на действующее производство целесообразно проверить эффективность уже внедренных технологических процессов. Для этого на основании параметров обрабатываемых контуров рассчитывается сложность операции, и по уравнению регрессии рассчитывается усредненная трудоемкость обработки для условий данного производства. Сравнивая действительную и усредненную трудоемкость можно определить неэффективные техпроцессы и увеличить пропускную способность оборудования.

### Библиографические ссылки

1. Шарин Ю. С., Шмурыгин Н. Д., Терентьев В. Н. Вопросы нормирования механообработки и теория сложности. – Екатеринбург : УГТУ, 2001. – 259 с.
2. Кугаевский С. С. Использование параметров КТЭ для расчета прогнозной трудоемкости изготовления деталей // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 4. – С. 38–42.
3. Кугаевский С. С. Технология обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ : монография. – Ч. 1. Обработка внутренних контуров. – Екатеринбург : УГТУ, 2000. – 142 с.
4. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. – М. : Экономика, 1990. – Ч. 2. – 470 с.

S. S. Kugaevsky, PhD in Engineering, Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg

E. A. Eremina, Post-graduate, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg

B. A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Forecasting the Labor Input of Aluminum Case Parts Manufacturing with Application of Theory of Complexity

The article considers the application of the theory of complexity to calculate the labor inputs of machining. Machining of case parts made of aluminum alloys is described. New mathematical models are developed to calculate the machining complexity for design technological elements. Results of models adapting to the real operating production are obtained.

**Key words:** theory of complexity, feature technology, labor input forecasting.