

УДК 004.38:621.9

В.Н. Рудницький, В.Г. Деткин, Н.В. Хрулёв

*Черкаський державний технологічний університет, Черкаси*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ УСТРОЙСТВ ЧПУ

*Рассмотрены вопросы определения пиковой производительности управляющей ЭВМ устройства ЧПУ, необходимой для обеспечения управления процессом перемещения режущего инструмента в заданном диапазоне скоростей при заданной точности перемещения с целью использования персональных компьютеров в качестве управляющей ЭВМ. Приведены результаты анализа зависимости необходимой пиковой производительности от требований к точности перемещения инструмента при заданном количестве инструкций процессора, необходимом для управления перемещением инструмента, и заданной максимальной скорости перемещения.*

**Ключевые слова:** управляющая ЭВМ, производительность ЭВМ, ЧПУ.

### Введение

**Постановка проблемы.** История систем ЧПУ насчитывает около 70 лет. Можно сказать, что развитие систем ЧПУ происходит синхронно с развитием вычислительной техники, т.е. определяется, в первую очередь, уровнем современных микроэлектронных технологий.

Современные машиностроительное, мебельное и прочие производства широко используют технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Парк оборудования в отечественных машиностроительных производствах, в основном, соответствует 80-м годам прошлого столетия, и только вновь создаваемые производства оснащаются современным оборудованием, как правило, импортного производства. Центральным элементом оборудования с ЧПУ является управляющая ЭВМ.

Соответственно парк управляющих ЭВМ также морально и физически устарел, не обеспечивает необходимой производительности и точности оборудования и, в большинстве случаев, не годится для выполнения сложных работ.

Таким образом, проблема разработки систем управления оборудованием ЧПУ, соответствующих современным требованиям актуальна и представляет определенный научный и практический интерес.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Устройства ЧПУ могут быть реализованы различным образом [1, 2]. Устройство ЧПУ может быть выполнено, как закрытая система, которая представляет собой специализированную ЭВМ, решающую задачу числового управления. Производство таких систем сегодня могут позволить себе только мощные фирмы. С другой стороны, сегодня весьма актуальны так называемые открытые системы, т.е. системы, выполненные на персональных компьютерах.

Для выполнения исследования возможности использования персональных компьютеров в качестве управляющей ЭВМ устройств ЧПУ безусловный интерес из публикаций последних лет представляют работы в области систем ЧПУ [1,2], а также теории вычислений [4].

**Целью данной статьи** является исследование пиковой производительности управляющей ЭВМ устройства ЧПУ, необходимой для обеспечения управления процессом перемещения режущего инструмента в заданном диапазоне скоростей при заданной точности перемещения с целью использования в качестве управляющей ЭВМ персональных компьютеров.

### Изложение основного материала

Станки с ЧПУ реализуют автоматизированное точечное взаимодействие между инструментом и предметом обработки, причем форма получаемой детали определяется траекторией движения инструмента [2].

Станки с ЧПУ, в соответствии с [3], в общем виде, имеют структуру, представленную на рис. 1.

Станина, направляющие и привод подач обеспечивают движение инструмента по заданной траектории. Шпиндель обеспечивает главное движение резания.

Устройство ЧПУ обеспечивает автоматизированное управление приводами с целью обеспечения изготовления детали по заданной программе ЧПУ в соответствии с документацией.

Функционирование станков с ЧПУ определяется успешной работой многих составляющих:

- управляющей программы ЧПУ;
- операционной системы;
- необходимых системных служб;
- аппаратного обеспечения управляющей ЭВМ, в первую очередь центрального процессора

(АЛУ и устройства управления УУ), памяти разных уровней (регистровой, кэш, оперативной, внешней), шин, каналов, интерфейсов разных уровней;

— электромеханической системы станка (электропривод, датчики состояния, необходимые технологические устройства).

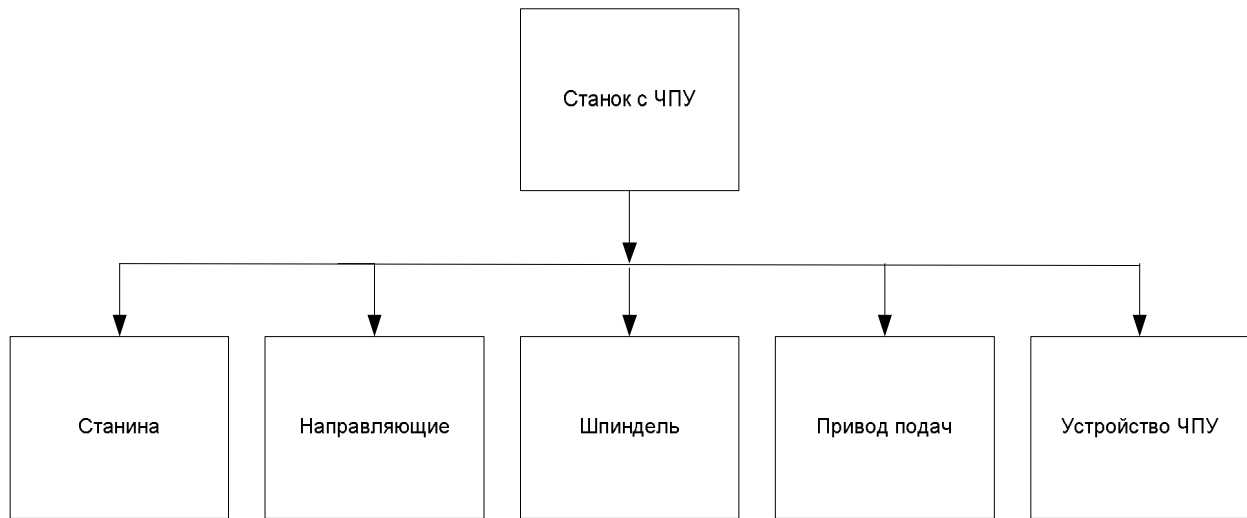


Рис. 1. Структура станка с ЧПУ

Введем следующие обозначения:

- $P$ , computational process, множество вычислительных процессов;
- $R$ , resources, множество вычислительных ресурсов;
- $E$ , electromechanics, множество электромеханических устройств.

Под множеством вычислительных процессов  $P = \{p_1, \dots, p_i\}$  будем понимать вычислительные процессы, реализующие работу ядра и необходимых служб операционной системы и, непосредственно, работу управляющей программы ЧПУ.

Под множеством вычислительных ресурсов  $R = \{r_1, \dots, r_k\}$  будем понимать аппаратное обеспечение управляющей ЭВМ, а именно:

- процессор, один или несколько;
- устройства памяти различных уровней;
- системные интерфейсы;
- интерфейсы ввода-вывода;
- необходимые подпрограммы и службы, которые могут быть задействованы во время функционирования системы ЧПУ.

Под множеством электромеханических устройств  $E = \{e_1, \dots, e_l\}$  будем понимать устройства приводов подачи обеспечивающих движение инструмента по заданной траектории, а также технологические устройства, обеспечивающие работу системы ЧПУ.

Тогда систему (станок) ЧПУ можно представить в виде математического описания:

$$CNC = \langle P, R, E \rangle. \quad (1)$$

Процесс обеспечения автоматизированного точечного взаимодействия между инструментом и предметом обработки, для обеспечения изготовле-

ния детали по заданной программе ЧПУ в соответствии с документацией можно описать следующим образом.

На аппаратных ресурсах  $R$  управляющей ЭВМ запускаются необходимые процессы  $P$  операционной системы и процессы управляющей программы ЧПУ. Во время работы управляющей программы ЧПУ (изготовления детали) формируются управляющие воздействия на множество электромеханических устройств  $E$  и считывается информация о состоянии системы ЧПУ.

Управляющую ЭВМ, независимо от количества процессоров, представим в виде одного обслуживающего устройства. Важнейшими характеристиками любой вычислительной системы являются [4]:

- загруженность вычислительной системы на данном отрезке времени  $\rho$ ;
- пиковая производительность вычислительной системы  $\pi$ ;
- реальная производительность вычислительной системы  $\gamma$ .

Под загруженностью системы  $\rho$  следует понимать отношение количества реально выполненных операций к максимально возможному количеству операций за данный отрезок времени [4]. Загруженность всегда должна удовлетворять условиям  $0 < \rho < 1$ .

Под пиковой производительностью  $\pi$  будем понимать максимальное количество инструкций (операций) процессора, которое может быть выполнено системой за единицу времени [4].

Под реальной производительностью системы  $\gamma$  будем понимать количество операций, реально выполненных процессором в среднем за единицу времени [4]. Очевидно, что  $\gamma = \rho \cdot \pi$ .

Сделаем ряд предположений упрощающих рассуждения и выполнение расчетов.

Предположим, что управляющая ЭВМ имеет достаточное количество установленной оперативной памяти. Таким образом, исполнительные модули ядра и необходимых служб операционной системы и управляющей программы ЧПУ, а также необходимые переменные и данные полностью расположены в оперативной памяти. В этом случае количество обращений к устройствам внешней памяти будет стремиться к 0. Это значит, что пиковая производительность управляющей ЭВМ  $\pi$ , в соответствии с законом Амдала [4], будет определяться быстродействием процессора (процессоров) и оперативной памяти, а не быстродействием самых медленных устройств, которыми исторически являются устройства внешней памяти. Предположим также, что быстродействие оперативной памяти соответствует быстродействию процессора и, таким образом, говоря о максимальной производительности управляющей ЭВМ, фактически подразумеваем максимальное быстродействие применяемого процессора.

Предположим, что обмен информацией между управляющей ЭВМ и электромеханическими устройствами  $E$  осуществляется при помощи некоторого гипотетического штатного интерфейса персонального компьютера. Предположим также, что этот интерфейс имеет достаточную пропускную способность и не вносит существенных задержек в процесс информационного обмена между управляющей ЭВМ и электромеханическими устройствами.

Среди множества процессов управляющей ЭВМ рассмотрим выполнение подпрограммы, управляющей прямолинейным движением инструмента. Для простоты рассуждений предположим, что на данном отрезке времени выполняется только эта подпрограмма, а также необходимые для ее выполнения системные процессы. По оценкам, приведенным в [4], накладные расходы в виде работы операционной системы и системных процессов могут составлять от 30 до 50% работы прикладного процесса. Предположим, что накладные расходы, необходимые для обслуживания нашего процесса, составляют 30% (минимальное оценочное значение).

Пусть для выполнения данного процесса управляющей программы ЧПУ, а именно управления выполнением одиночного шага, в среднем необходимо последовательное выполнение  $N$  инструкций, что с учетом накладных расходов составит  $1,3N$ .

Эмпирическим путем было установлено, что количество инструкций  $N$ , необходимое для управления выполнением одиночного шага, с учетом выполнения необходимых геометрических расчетов и расчетов динамики движения, может составлять

примерно 12000 инструкций. Приведенное значение было получено в результате трассирования подпрограммы управления прямолинейным перемещением инструмента. Подпрограмма была реализована в среде Delphi 7, работающей под управлением ОС Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 3. Трассировка программы выполнялась на процессоре Intel(R) Core(TM) Duo CPU T2600. Отметим, что значение  $N$  может существенно отличаться от приведенного, в зависимости от установленной операционной системы, используемого компилятора и аппаратного обеспечения.

Предположим также, что загруженность  $\rho$  управляющей ЭВМ на данном отрезке времени настолько близка (стремится) к 1, насколько это обеспечивает стабильную работу управляющей ЭВМ, т.е.:

$$\lim_{\rho \rightarrow 1} \rho \rightarrow \pi. \quad (2)$$

Тогда время  $T$ , необходимое управляющей ЭВМ для управления выполнением одиночного шага составит:

$$T = \frac{1,3N}{\pi}. \quad (3)$$

С другой стороны, чтобы обеспечить обработку детали определенной сложности с некоторой точностью и производительностью, системы ЧПУ [2] должны обеспечивать некоторые заданные характеристики (параметры).

Современные системы ЧПУ характеризуются высокими требованиями к точности изготовления детали и производительности.

Приведем значения этих характеристик для современных систем ЧПУ [2]:

- диапазон рабочих скоростей перемещения 0,01...6000 мм/мин;
- скорость быстрого перемещения 6...60 м/мин;
- точность перемещения (шаг, дискрет) 0,1...0,00001 мм.

Введем обозначения:

- $V_w$  – рабочая скорость перемещения;
- $V_f$  – скорость быстрого перемещения;
- $S$  – точность перемещения.

Также введем понятие такта ЧПУ. Такты ЧПУ это равные, прилегающие друг к другу, отрезки времени, необходимые для выполнения одного элементарного перемещения (шага, дискрета). Будем различать такты ЧПУ рабочих перемещений  $\tau_w$  и такты ЧПУ быстрых перемещений  $\tau_f$ . В дальнейшем ограничимся рассмотрением только быстрых перемещений, как требующих большей производительности управляющей ЭВМ.

В соответствии с введенными обозначениями величина такта ЧПУ быстрого перемещения определится как:

$$\tau_f = \frac{S}{V_f} \quad (4)$$

Приравняем правые части уравнений (3) и (4), в результате получим зависимость пиковой производительности управляющей ЭВМ от точности перемещения при заданном количестве инструкций процесса, управляющего прямолинейным движением

$$\pi = \frac{1,3 \cdot N \cdot V_f}{S} \quad (5)$$

На рис. 2 приведены графики зависимости (5) для значений N равных 10000 и 20000, и значения V<sub>f</sub> равного 60 м/мин.

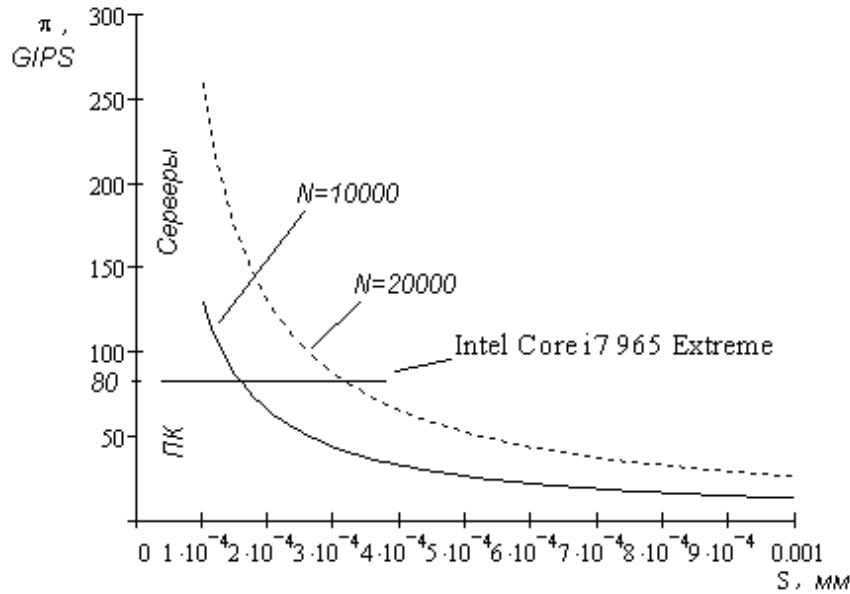


Рис. 2. Зависимость пиковой производительности управляющей ЭВМ от точности перемещения

По состоянию на момент написания данной статьи, самым производительным в линейке процессоров для персональных компьютеров являлся процессор Intel Core i7 965 Extreme [5], производительность которого по результатам теста Dhrystone составляет 81,165 GIPS [6]. Примем это значение в качестве максимальной производительности для сегмента персональных компьютеров.

Расчеты, выполненные с использованием (5) показывают, что для обеспечения точности перемещения 0,001 мм при максимальной скорости перемещения 60 м/мин, требуемая пиковая производительность управляющей ЭВМ составляет около 30 GIPS, что соответствует диапазону производительностей персональных компьютеров.

Для обеспечения точностей перемещения 0,0001 мм и 0,00001 мм при максимальной скорости перемещения 60 м/мин, требуется применение управляющей ЭВМ с производительностями, соответственно, порядка 130 GIPS и  $1,3 \cdot 10^3$  GIPS и более, что значительно превышает возможности сегмента персональных компьютеров.

### Выводы

Анализ полученной зависимости, с учетом сделанных идеализирующих допущений, позволяет

инструмента, необходимых для управления выполнением одиночного шага.

сделать вывод о потенциальной возможности использования персональных компьютеров для управления движением инструмента в системах ЧПУ с учетом ограничений на точность и производительность системы.

На производительность реальной управляющей ЭВМ кроме производительности процессора оказывают влияние тип и характеристики оперативной памяти, архитектура и тип материнской платы, тип и производительность интерфейса между управляющей ЭВМ и электромеханическими устройствами Е.

Необходимо учитывать также то, что ряд аппаратных процессов, например процесс регенерации оперативной памяти, а также выполнение вычислительного процесса [4] имеют стохастический характер, что отрицательно сказывается на точности управления перемещением инструмента.

Для обеспечения точности перемещения порядка 0,0001 ... 0,00001 мм необходимо компенсировать недостающую производительность управляющего персонального компьютера каким-либо образом, например, понизить максимальную скорость перемещения или ввести в структуру системы ЧПУ дополнительное устройство или ряд устройств, позволяющих уменьшить нагрузку на управляющую ЭВМ.

**Список літератури**

1. Сосонкин В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос, 2005. – 296 с.
2. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления / В.Л. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 248с.
3. Кряжев Д.Ю. Фрезерная обработка на станках с ЧПУ с системой ЧПУ FANUC / Д.Ю. Кряжев. – СПб.: ИРЛЕН-инжиниринг, 2005. – 41 с.
4. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
5. Desktop Processors from Intel [Электронный ре-

сурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.intel.com/products/desktop/processors/index.htm>.

6. Charts, benchmarks Desktop CPU Charts Q3/2008, Sandra 2008 - Processor Arithmetic [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.tomshardware.co.uk/charts/desktop-cpu-charts-q3-2008/Sandra-2008-Processor-Arithmetic,802.html>.

Поступила в редколлегию 11.05.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИХ  
КОМП'ЮТЕРІВ В ЯКОСТІ КЕРУЮЧОЇ ЕОМ ПРИСТРОЇВ ЧПУ**

В.М. Рудницький, В.Г. Деткин, М.В. Хрульов

*Розглянуто питання визначення пікової продуктивності керуючої ЕОМ пристрою ЧПУ, необхідної для забезпечення управління процесом переміщення різального інструменту в заданому діапазоні швидкостей при заданій точності переміщення з метою використання персональних комп'ютерів в якості керуючої ЕОМ. Наведено результати аналізу залежності необхідної пікової продуктивності від вимог до точності переміщення інструменту при заданій кількості інструкцій процесора, необхідній для управління переміщенням інструменту, і заданої максимальної швидкості переміщення.*

**Ключові слова:** керуюча ЕОМ, продуктивність ЕОМ, ЧПУ.

**RESEARCH OF AN OPPORTUNITY OF USE OF PERSONAL  
COMPUTERS AS A CNC CONTROL COMPUTER**

V.N. Rudnitsky, V.G. Detkin, N.V. Khrulov

*The questions of determination of the peak performance of the CNC's control computer, that is necessary for ensuring the management of the process of movement of the cutting tool within a given range of speeds and at a given precision of the movement, regarding the use of personal computers as a control computer are examined. The results of the analyses of the dependence of the necessary peak performance and the accuracy required for moving the tool for a given amount of CPU instructions, that are necessary to control the movement of the tool, and the given maximum speed are produced.*

**Keywords:** control computer, computer efficiency, CNC.