

## Факторы эффективности применения оборудования с ЧПУ

*Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля*

Проанализировано состояние машиностроительной отрасли в современных условиях, выявлена необходимость пересмотра подходов при выборе оборудования. Проанализированы основные изменения в характеристиках, стоимости, обслуживании и технологических возможностях оборудования с ЧПУ. Сформулированы основные факторы для предварительного отбора деталей для обработки на оборудовании с ЧПУ в зависимости от типа производства. Описан опыт применения программы SprutCAM для определения оперативного времени обработки и уточненного анализа эффективности использования оборудования с ЧПУ выбранной кинематической схемы.

**Ключевые слова:** оборудование с ЧПУ, факторы, эффективность, САМ-система, номенклатура.

### Введение

В условиях проявления кризисных экономических явлений в мировой экономике промышленные предприятия находятся в тяжелых условиях постоянно изменяющегося спроса на их продукцию. Дополнительно накладываются жесткие условия мировой конкуренции, усугубляемые различными экономическими, энергетическими и сырьевыми условиями производства. Соотношение цена/качество выходит на первый план конкурентоспособной борьбы, что требует от предприятий гибкости их производственных мощностей, кратчайших сроков освоения продукции и эффективного использования оборотных средств.

После катастрофического спада промышленного производства при перестройке установился период обновления и модернизации производственной базы предприятий, который совпал с периодом интенсивного развития электроники, отразившийся на стоимости и возможностях оборудования с ЧПУ. Появились широкие возможности в выборе моделей оборудования и его производителей. Достигнуто существенное повышение режимов резания за счет применения различных покрытий режущих инструментов, улучшающих условия резания.

К сожалению, часто сегодня встречаются механообрабатывающие участки с преобладанием опытных, квалифицированных станочников предпенсионного возраста и устаревшего универсального оборудования (при наличии отдельных устаревших станков с ЧПУ) [1], в таких условиях невозможно достичь высокого уровня производства. Имеющаяся руководящая литература во многом устарела [2], а вузы вынуждены вести обучение на имеющемся устаревшем оборудовании [3]. Но все больше предприятий вкладывают средства в модернизацию производственного оборудования, применяют передовые технологии и активно сотрудничают с вузами для более качественной подготовки кадров.

**Целью работы** является разработка методики для оперативного определения эффективности применения оборудования с ЧПУ в конкретных производственных условиях путем выделения основных факторов предварительного отбора и программной оценки длительности обработки детали на станке с ЧПУ.

### Основные стереотипы оборудования с ЧПУ

За оборудованием с ЧПУ закрепился ряд стереотипов, которые прочно вошли в сознание технологов и руководителей «старой закалки», но некоторые ключевые моменты изменились, на которые и необходимо обратить внимание.

В связи с развитием электроники и вычислительной техники в несколько раз снизилась стоимость комплекта оснащения, необходимого для замены ручного управления на ЧПУ. В результате модельный ряд оборудования охватывает мини-станки с ЧПУ, модернизированное универсальное оборудование с ЧПУ, полноценное оборудование повышенной точности и жесткости (иногда предназначенного только для чистовой обработки) с ЧПУ и широкоуниверсальные обрабатывающие центры с ЧПУ токарной или фрезерной группы. Каждый из перечисленных модельных рядов отличается от предыдущего в несколько раз. Стоимость мини-станков с ЧПУ начинается от тысячи долларов. Универсальное оборудование, модернизированное устройством ЧПУ, стоит в полтора два раза дороже. Переход к более совершенным моделям оборудования не имеет четкого деления, а характеризуется повышением жесткости, точности, количества управляемых координат и технологических возможностей в различных сочетаниях с вполне обоснованным повышением стоимости. К передовым разработкам оборудования с ЧПУ можно отнести токарно-фрезерные обрабатывающие центры с противошпинделем, наличие инструментальной головки и т.д., фрезерные обрабатывающие центры с количеством управляемых координат до пяти и выше. Новым вектором развития современного оборудования являются многозадачные станки на которых проводят параллельную обработку несколькими инструментами одновременно. Поэтому оборудование с ЧПУ, как считалось ранее, не только имеет повышенную точность и жесткость в десятки раз превышающую стоимость универсального оборудования, но и новые технологические возможности с широким выбором компоновок. Такое оборудование, как правило, нельзя сравнить с каким-то универсальным станком, а только с группой оборудования, которое ним может быть заменено.

Изначально подготовка управляющих программ (УП) для обработки требовала значительных затрат времени, но с развитием CAD/CAM программ, в том числе встроенных в программное обеспечение оборудования с ЧПУ, время их разработки сократилось в десятки раз. На рынке программного обеспечения представлен целый спектр CAD/CAM программ, предназначенных для формообразования заданного контура, наиболее совершенные обеспечивают автоматическое назначение оптимальных режимов резания [4] и визуализацию процесса обработки. В результате разработка УП требует владения навыками использования CAD/CAM программ, а не существенных затрат времени. При подготовке технологов большое внимание вузами уделяется изучению CAD/CAM программ в виде отдельных дисциплин. Наличие у выпускных кафедр, ведущих подготовку технологов, лицензионного программного обеспечения, ведущих разработчиков CAD/CAM программ позволяет вести подготовку на высоком современном уровне. К сожалению, большинство вузов не могут обеспечить практических навыков программирования оборудования из-за отсутствия в распоряжении кафедр современного оборудования с ЧПУ [3]. В работе [5] изложен практический опыт повышения качества учебного процесса применением макетного и виртуального оборудования с ЧПУ.

Считалось, что оборудование с ЧПУ требует длительной настройки и наладки перед изготовлением партии деталей. На современном оборудовании с ЧПУ этот вопрос решен моментальной загрузкой УП из памяти или внешнего носителя, применением набора инструментов с заранее заданными параметрами вылетов и универсальных приспособлений. В результате в большинстве случаев, настройка заключается в загрузке УП, смене части инструмента и контрольной отработке УП, что не требует значительных затрат времени.

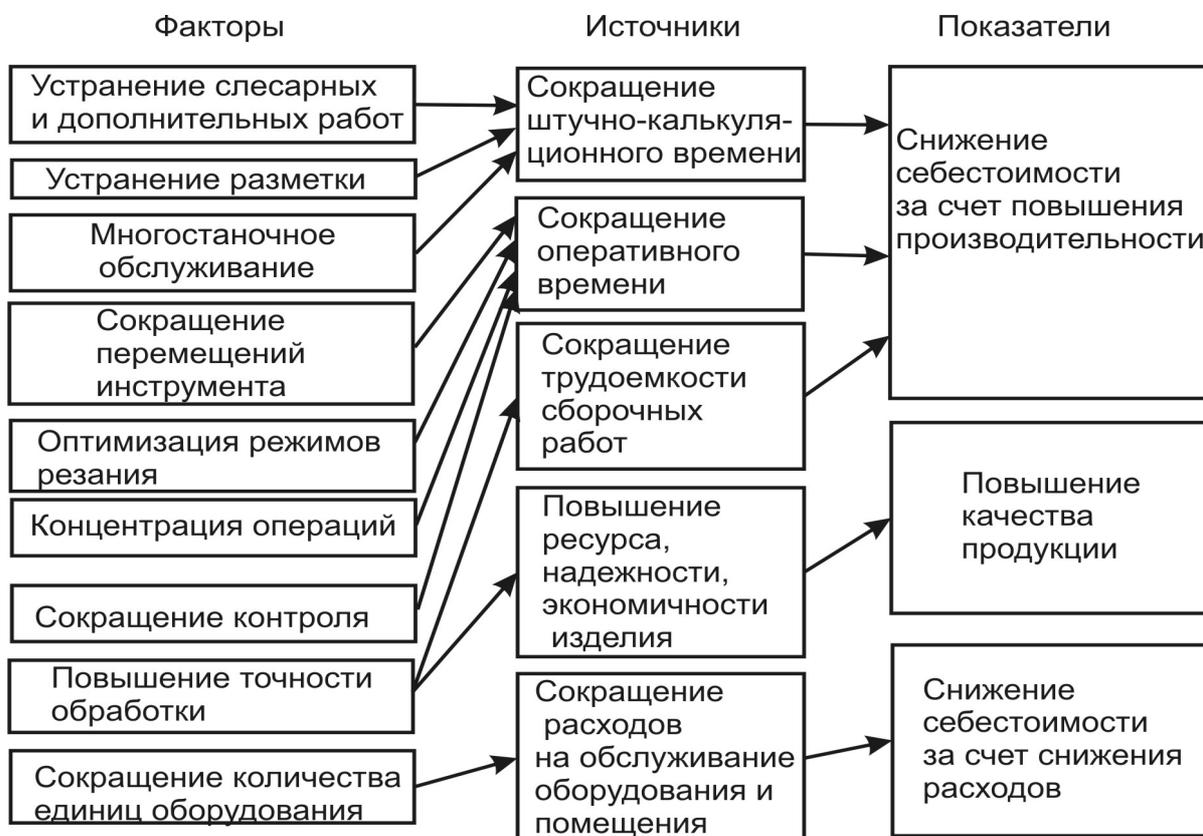
Дорогостоящее обслуживание оборудования с ЧПУ, требовавшее наличия отдела наладчиков, сменилось надежным оборудованием с гарантийным обслуживанием, которое в комплексе с устройствами активного контроля исключает необходимость вмешательства в работу оборудования в межремонтный период.

### Показатели эффективности применения оборудования с ЧПУ

Изготовление сложных пространственных поверхностей невозможно без применения оборудования с ЧПУ, и в таких случаях не требуется экономический анализ, необходим только поиск направлений сокращения стоимости обработки. В остальных случаях, имеющих альтернативные технологические процессы, проводят анализ эффективности техпроцессов. Эффективность использования оборудования с ЧПУ в первую очередь зависит от фонда времени его эксплуатации.

**Единичное производство, отбор номенклатуры деталей.** В единичном производстве применяют оборудование с ЧПУ для изготовления деталей, которые невозможно получить на универсальном оборудовании. Основную часть таких деталей занимают различные уникальные детали, штампы и мастер-модели сложной пространственной формы. Учитывая упрощенную форму документации в единичном производстве и длительность работы оборудования по УП при обработке больших пространственных поверхностей, совмещают функции технолога, программиста и оператора-наладчика. Преимуществом такого совмещения является индивидуальная ответственность за качество детали.

**Серийное производство, отбор номенклатуры деталей.** Экономически эффективно внедрение оборудования с ЧПУ при наличии номенклатуры деталей, при обработке которых существуют основные источники и факторы, показанные на рисунке.



Источники и факторы экономической эффективности оборудования с ЧПУ

Эффективность внедрения оборудования с ЧПУ объясняется преобладающим использованием их основных преимуществ – возможности точного позиционирования и перемещения инструмента по заданной траектории, автоматической смены инструмента и т.д. Поэтому эффективно обрабатывать сложные детали с большим количеством поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки и элементы прямых и плоскостей, не параллельных координатным осям станка. При этом эффективность достигается действием почти всех источников экономической эффективности (см. рисунок). При фрезерной обработке на оборудовании с ЧПУ полностью исключаются разметочные работы, применяются более производительные режимы резания, обеспечивается точность до 1 мкм и чистота поверхности по 4 – 5-му классу при обработке периферией и торцом концевой фрезы, исключается необходимость в финишных операциях. При обработке деталей с продолжительным циклом возможно многостаночное обслуживание. Упрощается контроль деталей, контролируют только небольшое число характерных размеров, позволяющих судить о состоянии инструмента. При необходимости контроля пространственных поверхностей применяют тензометрические датчики, перемещаемые по управляющей программе. Уменьшается использование специальной оснастки. Достигается концентрация операций, позволяющая сократить вспомогательное время.

#### **Определение оперативного времени обработки детали**

Для эффективного использования оборудования с ЧПУ необходимо применять автоматизированную разработку УП с применением САМ-систем. Сравнить весь спектр САМ-систем – сложная и малоэффективная работа, так как наблюдается постоянное совершенствование программ. При анализе усредненного спектра оборудования с ЧПУ, применяемого на предприятиях области, и номенклатуры деталей предпочтение отдано программе SprutCAM российской компании «СПРУТ-Технология». Основное назначение программы SprutCAM – генерация управляющих программ для обработки деталей на многокоординатных фрезерных, токарных, токарно-фрезерных, электроэрозионных станках и обрабатывающих центрах с ЧПУ [6]. Система позволяет создавать управляющие программы для станков с различными кинематическими схемами и может настраиваться на любые типы устройств ЧПУ. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля имеет лицензию, предоставленную ООО «НПП Солис», на пакет программ компании «СПРУТ-Технология», которые были внедрены в учебный процесс обучения специальности 7.05050201 – «Технология машиностроения».

Кроме основного назначения SprutCAM очень удобно использовать в качестве инструмента дополнительной оценки эффективности изготовления детали на оборудовании с ЧПУ. В частности, по модели предварительно выбранной детали, заготовки и кинематики оборудования формируется маршрут обработки, включающий в себя применяемый инструмент, обрабатываемые поверхности, режимы и т.д. и программа автоматически рассчитывает траектории перемещения инструмента и оперативное время. Трудоемкость описанного перечня работ зависит от количества видов обработки и занимает немного времени. Используя программу SprutCAM, можно быстро переориентировать обработку на другую кинематическую схему оборудования (другую модель) для дозагрузки выбранного станка или сопоставления оперативного времени. Полученное оперативное время можно использовать при анализе эффективности обработки на станке с ЧПУ.

### **Определение экономической эффективности**

В единичном производстве при отсутствии альтернативных методов обработки рассчитывают себестоимость изготовления детали, которую определяют по автоматически рассчитанному времени работы оборудования с учетом коэффициента, учитывающего затраты на изучение документации, разработку УП, наладку оборудования, амортизацию оборудования и оснастки, инструмент, помещение и т.д. в конкретных производственных условиях. С учетом отчислений и прибыли получаем коэффициент для укрупненной оценки стоимости изготовления детали. В более точном анализе стоимости изготовления детали нет необходимости.

В условиях серийного производства расчет рекомендуется вести по МУ2.5-81 «Определение экономической эффективности внедрения оборудования с ЧПУ» [2]. Но многие подходы к расчету экономической эффективности оборудования с ЧПУ, как и их стоимость и возможности, принципиально изменились по сравнению с 1981 годом. Проведено большое количество исследований, освещенных в различных изданиях, но однозначного подхода и методики расчета пока нет. При учете всех возможных факторов получаем зависимости, не удобные для практического применения, так как каждое предприятие уникально по имеющемуся парку оборудования, помещениям, видам изготавливаемых деталей и т.д. Показатель экономической эффективности внедрения оборудования с ЧПУ по своей сути близок к показателю технологичности конструкции изделия, и его можно определить, сравнивая технологические процессы для получения заданного качества в условиях конкретного производства.

Применение САМ-системы для расчета оперативного времени обработки деталей, которые были отобраны студентами из номенклатуры ПАО "Лугансктепловоз" позволило определить снижение длительности оперативного времени и занимаемых площадей оборудованием. Во всех случаях наблюдалось существенное снижение оперативного времени от 25% при использовании станков с противопинделем вместо устаревших станков с ЧПУ и до 70% при замене универсального и гидрокопировального оборудования на станки с ЧПУ. Снижение площади, занимаемой оборудованием, – соответственно от двух до пяти раз. Пространственно сложные детали не рассматривались.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами работы [7], где также отмечено, что использование оборудования с ЧПУ вместо универсального оборудования сокращает сроки технологической подготовки производства на 50...75%; продолжительность цикла изготовления продукции уменьшается на 50...60%; затраты проектирования и изготовления технологической оснастки снижаются на 30...85%; производительность технологических операций повышается за счет сокращения основного и вспомогательного времени.

### **Список литературы**

1. Контелев, В.А. Метод повышения фактической загрузки нового металлорежущего оборудования с ЧПУ на действующих машиностроительных предприятиях [Текст] / В.А. Контелев, А.Н. Михайлов // Прогресивні технології і системи машинобудування. – Вип. 1, 2 (43). – 2012. – С. 161-169.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. [Текст] / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. Т. 1. – 912 с.
3. Чесноков, А.В. Передовые технологии машиностроения в образовании, достижения и проблемы [Текст] / А.В. Чесноков, А.Н. Кирсанов // Наукові вісті Далів-

ського університету. – 2012. – №5. – Режим доступа: [http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_5/12cavdip.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_5/12cavdip.pdf)

4. Петраков, Ю.В. Нова концепція автоматизованого проектування програм для верстатів з ЧПУ [Текст] // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. зб. наук. пр. – Вип.. 42. – Донецьк, 2011. – С. 238-245.
5. Чесноков, А.В. Виртуальное и макетное оборудования с ЧПУ в обучении технологии машиностроения [Текст] / А. В. Чесноков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х., 2013. – Т. 1 №1 (61). – С. 21-24.
6. СПРУТ-Технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sprut.ru>.
7. Морозов, В.В. Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ : учеб. пособие [Текст] / В.В. Морозов, В.Г. Гусев ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-т, 2009. – 236 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. кафедры  
Витренко В.А., ВНУ им. В.Даля, г. Луганск.

Поступила в редакцию 05.02.2013

## **Чинники ефективності застосування обладнання з ЧПУ**

Проаналізовано стан машинобудівної галузі в сучасних умовах, виявлена необхідність перегляду підходів при виборі обладнання. Проаналізовано основні зміни в характеристиках, вартості, обслуговуванні й технологічних можливостях обладнання з ЧПУ. Сформульовано основні чинники для попереднього відбору деталей для оброблення на обладнанні з ЧПУ залежно від типу виробництва. Описано досвід застосування програми SprutCAM для визначення оперативного часу оброблення і уточненого аналізу ефективності застосування обладнання з ЧПУ вибраної кінематичної схеми.

**Ключові слова:** обладнання з ЧПУ, чинники, ефективність, САМ-система, номенклатура.

## **Factors of efficiency of application of equipment with CNC**

In the article, consisting of machine-building industry is analysed of modern terms, the necessity of revision of approaches is exposed at the choice of equipment. Basic varying are analysed in descriptions, cost, service and technological possibilities of equipment with CNC. Basic factors are formulated for preselection of details for treatment on an equipment with CNC depending on the type of production. Tentative of application of the program SprutCAM is described for determination of operative time of treatment and specified analysis of efficiency of application of equipment with CNC the examined kinematics chart.

**Keywords:** equipment with CNC, factors, efficiency, CAM- system, nomenclature.