

УДК 62-50:658.564:621.923:924

Петраков Ю.В.

НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина ([yp-86@yandex.ru](mailto:yp-86@yandex.ru))

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ САМ-СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Petrakov Y.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine ([yp-86@yandex.ru](mailto:yp-86@yandex.ru))

### MODERN TRENDS OF CAM SYSTEM FOR MACHINING ON CNC MACHINES

***Аннотация.** Представлен анализ современных тенденций развития САМ систем. Показано, что в новых версиях САМ систем применяются методы управления процессом резания с целью его стабилизации. Управление проектируется на основании априорной информации и предполагает решение задачи стабилизации за счет выполнения сложных движений по трохоидальной траектории, параметры которой рассчитываются исходя из критерия стабилизации угла резания, что, в принципе, не приводит к стабилизации процесса по его главным характеристикам. Предлагается решение задачи стабилизации по силе резания управлением по подаче, закон изменения которой рассчитывается автоматически при моделировании процесса резания. Управление на основе текущей информации предусматривает создание систем автоматического управления с обратной связью по контролируемому параметру процесса резания. Создано программное обеспечение для идентификации процесса резания, которое может использоваться в качестве канала обратной связи. Управление по апостериорной информации целесообразно применять для повышения точности обработки. Разработан алгоритм такого управления, который использует данные измерений поверхности детали после пробного прохода для коррекции траектории на последнем проходе. Представлен опыт создания САМ систем оптимального управления для токарной обработки.*

***Ключевые слова:** САМ система, станки с ЧПУ, управление процессом резания.*

#### Введение

Современное машиностроение уже нельзя представить без использования станков с ЧПУ, а технологическую подготовку производства - без применения САМ-систем (Computer Aided Manufacturing), которые автоматизируют проектирование управляющих программ. На рынке высоких технологий присутствует множество САМ-систем, имеющих примерно одинаковые характеристики, среди которых первые места по объему продаж лицензий занимают продукты фирм Dassault System, Siemens и Delcam [1]. Анализ возможностей таких САМ-систем показывает, что все они прекрасно справляются с геометрическими задачами проектирования траекторий формообразования для сложных поверхностей деталей, имеют широкий спектр постпроцессоров, многообразные опции технологической поддержки т.п. Однако, как отмечают эксперты [2], отсутствие каких-либо инновационных преобразований по управлению процессом резания в последнее время заставили фирмы искать новые решения [3]. Если в начале, на первом этапе развития САМ-систем их возможности позволяли обработать, конечно, на станках с ЧПУ, поверхности деталей, которые считались не технологичными и даже не реализуемыми, то теперь этого оказалось мало: технологи-программисты стали обращать внимание на производительность, точность и качество обработки.

Из теории автоматического управления [4] известны два принципа управления – по ошибке и по возмущению и три основных метода управления - по априорной, текущей и апостериорной информации. Именно к этим канонам и стали обращаться фирмы с целью повышения эффективности своих продуктов.

**Целью** данного исследования является анализ направлений совершенствования САМ-систем ведущих мировых фирм и представление результатов работы в этом направлении кафедры технологии машиностроения НТУУ «КПИ».

#### Основное содержание

В ходе проведенных исследований [5] был сформулирован общий алгоритм управления процессом резания, который состоит в последовательном решении трех задач: 1) стабилизация условий резания при движении по формообразующей траектории, 2) оптимизация всего процесса резания по критерию максимума производительности, 3) коррекция формообразующей траектории на последнем проходе. Поскольку управление процессом резания на станке с ЧПУ может вестись только через управляющую программу, решение этих задач должно производиться автоматически, при подготовке управляющей программы в САМ-системе.

Одновременно были разработаны и систематизированы основные методы управления по времени поступления информации, которая используется для его формирования: по априорной информации, управление

по текущей информации и управление по апостериорной информации. Каждый из этих методов может иметь целью решение одной из приведенных выше задач, либо всех трех одновременно.

Анализ развития САМ-систем, которые можно отнести к системам 2-го поколения, показывает, что поиск новых решений ведется именно по таким направлениям.

**Управление по априорной информации.** Такое управление формируется непосредственно в САМ-системе при проектировании управляющей программы на основании исходных данных о поверхности детали, которую нужно обработать, заготовке, инструменте и некоторых других, известных на этом этапе сведений.

В качестве примера проектирования такого управления, которое преследует цель стабилизации условий резания на станке, можно привести последнюю версию САМ-системы для фрезерной обработки PowerMill-2013 фирмы Delcam [6]. Управление (оно названо стратегией Vortex) проектируется на основе априорной информации, которая содержится в геометрических параметрах взаимодействия инструмента и заготовки.

На рис.1 проиллюстрированы основные соображения, принятые при проектировании управления: угол резания при обработке контура детали с постоянным (эквидистантным) припуском изменяется от  $46^{\circ}$  на прямолинейном участке до  $91^{\circ}$  на участке внутреннего контура.

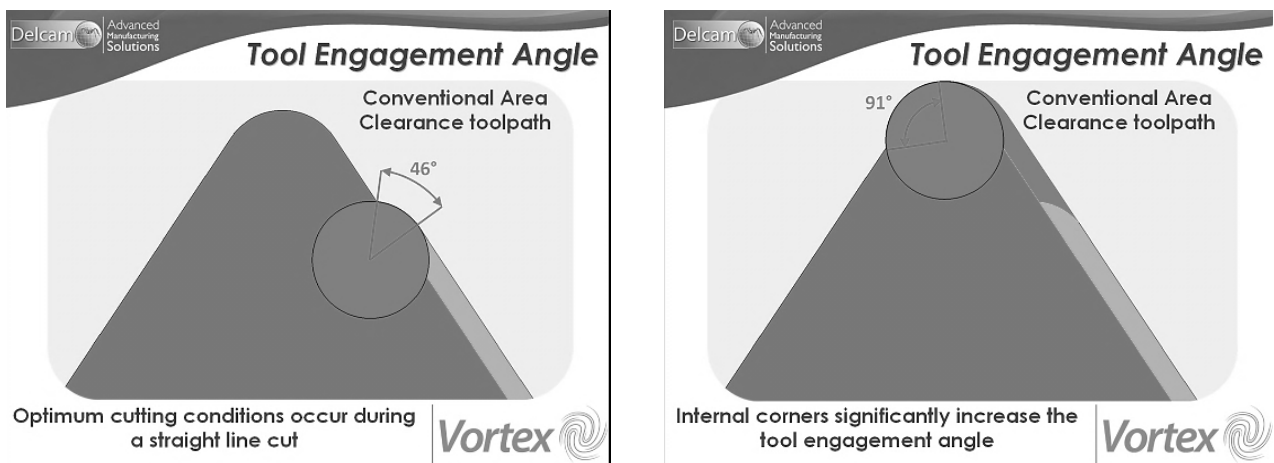


Рис. 1. Изменение угла резания при обработке контура детали

Разработанная фирмой Delcam стратегия управления Vortex предусматривает стабилизацию угла резания за счет сообщения инструменту и заготовке относительного движения по специальной трохоидальной траектории [6]. Таким образом, разработчики стратегии пошли по пути управления геометрическими параметрами, а не составляющими режима резания.

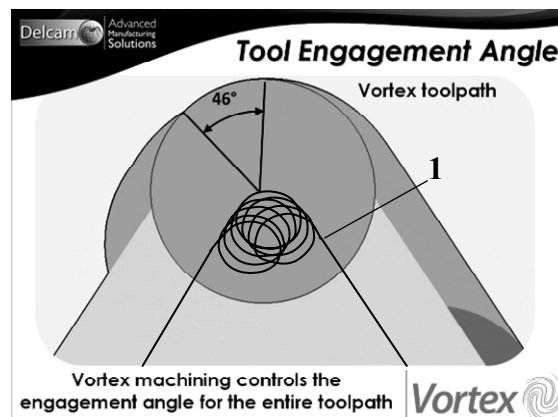


Рис. 2. Стратегия Vortex

Трохоидальная траектория (линия 1 на рис.2) рассчитывается исходя из геометрического взаимодействия фрезы, как цилиндрического тела, без учета зубьев, а в качестве критерия для стабилизации процесса резания взят также чисто геометрический параметр – угол контакта, который поддерживается на постоянном уровне. Такой подход во-первых снижает адекватность модели (даже геометрической) взаимодействия инструмента и заготовки, а во-вторых угол контакта только косвенно связан с главной характеристикой процесса резания –

скоростью срезания припуска – MRR (Material Removal Rate) [7], по которой можно оценивать стабилизацию процесса.

Движение по трохойдальной траектории на высоких подачах (HSM) привело к искажению заданных в спроектированной программе параметров движения [8]. Это вызвано тем, что сигнал от стойки, которая снабжена опцией Look Ahead, проходит через привод станка, который играет роль фильтра и является как минимум аperiодическим звеном первого порядка. В зависимости от характеристик станка, желаемой траектории и величины подачи возможна задержка выполнения траектории по времени (рис.3).



Рис. 3. Искажение параметров движения по трохойдальной траектории

Таким образом возникла необходимость учитывать динамические параметры конкретного станка, на котором реализуется эта стратегия обработки. Компания Delcam, осознавая всю сложность адекватного расчета на базе априорной информации, разработала специальную тестовую программу Machine DNA Profiler, которая выполняет серию автоматизированных тестов, чтобы определить фактические характеристики. Результаты тестов обрабатываются программой в автоматическом режиме и используются в дальнейшем при выборе стратегии обработки (параметры фактически воспроизводимой трохойдальной траектории) для конкретного станка. Ясно, что для использования такой опции станок должен быть оборудован датчиками обратной связи по координатам, а это имеется далеко не на всех станках с ЧПУ, особенно старых моделей.

Кроме того, обработка по трохойдальным траекториям в большинстве случаев предполагает выполнение дополнительного прохода для удаления гребешков на обработанной поверхности, что приводит к увеличению времени обработки (рис.4).



Рис. 4. Поверхность детали после трохойдального фрезерования

На кафедре технологии машиностроения НТУУ «КПИ» разработана новая концепция проектирования управляющих программ для станков с ЧПК по априорной информации [8]. В качестве управляющего воздействия используется подача по эквидистанте, закон изменения которой рассчитывается автоматически при моделировании процесса из условия его стабилизации по критерию силы резания.

Метод можно проиллюстрировать на примере проектирования управляющей программы для 2,5D фрезерования контура детали, образованного двумя прямыми и сопрягающей дуги окружности. Для решения задачи моделирования была разработана математическая модель срезания припуска, алгоритм которой представлен в работе [9]. Алгоритм выполняет расчет цифровых моделей контура детали,

заготовки, эквидистанты и при моделировании процесса автоматически на каждом шаге определяет координаты точек начала и конца дуги резания.

На интерфейсе программы моделирования (рис.5, а) представлен результат моделирования обработки контура детали 1 при движении по эквидистанте 2 концевой фрезы 3 с постоянной подачей (линия 4 на осциллографе 1). Точки начала и конца дуги резания (точка А и В соответственно) определяют дугу резания, график изменения которой показан линией 5, а график изменения средней окружной составляющей силы резания, рассчитанной по формулам, представленным в работе [9], показан линией 6. Очевидно, что процесс является существенно нестационарным и нуждается в управлении.

Прикладная программа позволяет проводить моделирование в различных диапазонах изменения параметров, которые показаны в поле исходных данных, а разработанный алгоритм моделирования учитывает реальный процесс фрезерования – срезание припуска каждым зубом фрезы. Просмотр результатов моделирования такого процесса возможен на осциллографе 2. На рис.5, б показан момент моделирования при входе фрезы в обработку радиусной поверхности детали. Площадь резания (линия 7) каждым зубом фрезы изменяется, увеличиваясь в соответствии с увеличением дуги резания, аналогично изменяется и окружная составляющая силы резания (линия 8). Следует

заметить, что, не смотря на изображение в графическом окне проекции сверху – для вертикально-фрезерного станка, разработанная математическая модель учитывает угол наклона лезвия зуба фрезы и толщину заготовки. Поэтому график площади резания представляет суммарную площадь резания при нахождении в зоне резания одного, двух и более зубьев фрезы. По окончании моделирования на интерфейсе появляется окно «Записать файл управления» и соответствующая кнопка, что позволяет сохранить результаты моделирования для последующего формирования управляющей программы обработки такой поверхности детали.

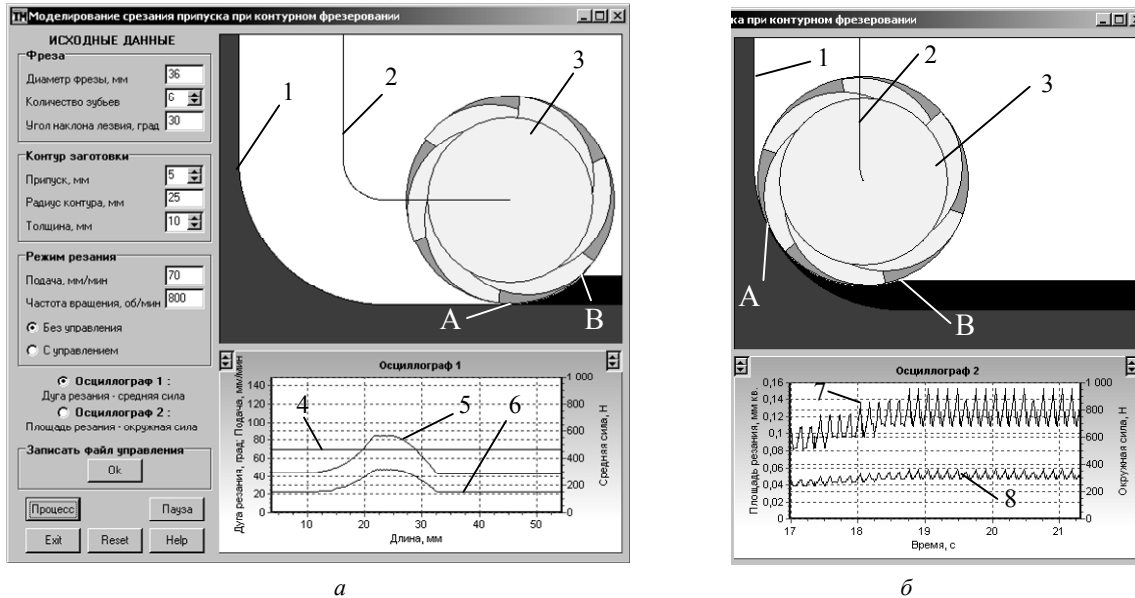


Рис. 5. Моделирование процесса фрезерования с постоянной подачей

Созданная программа также позволяет моделировать процесс фрезерования с управлением подачей по эквидистанте. Для этого в окне «Режим резания» выбирается опция «с управлением» и загружается файл, который был сохранен на предыдущем этапе моделирования (рис.6, а). Изменение главных параметров процесса резания изображается в окне осциллографа, закон управления подачей показан линией 4, дуга резания (линия 5) на изменяется по сравнению с фрезерованием с постоянной подачей, а средняя составляющая окружной силы резания стабилизируется на уровне 320Н (линия 6). При таком управлении также достигается квазистабильзация суммарной площади резания каждым зубом фрезы и окружная составляющая силы резания (линия 7 и линия 8 соответственно на рис.6, б – сравните с рис.5). Все остальные обозначения на рис.6 такие же как и на рис.5.

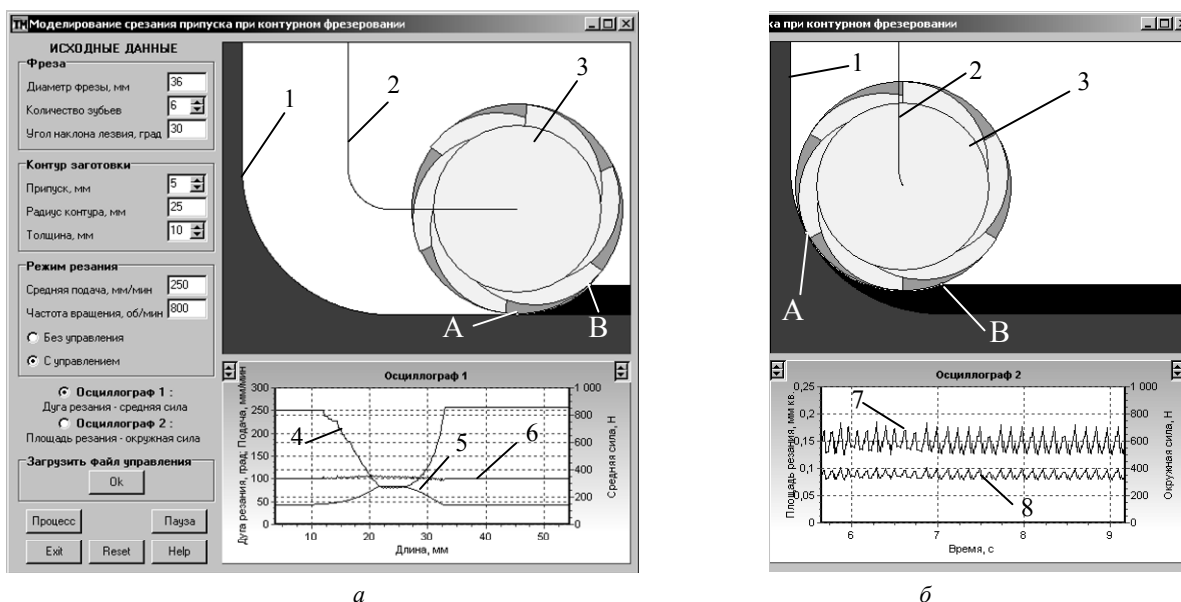


Рис. 6. Моделирование процесса фрезерования с управлением подачей

Для проверки адекватности спроектированного управления был проведен эксперимент на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ VF-3 фирмы HAAS в лаборатории учебно-тренингового центра НТУУ «КПИ» - HAAS (рис.7, а) при обработке аналогичного участка детали. Для регистрации условий фрезерования был использован монитор стойки ЧПУ станка (рис.7, б) на котором отображаются значения текущих координат по управляемым осям и загрузка соответствующих приводов (область 1 на рис.7, б), а также загрузка шпинделя главного движения (область 2 на рис.7, б). При обработке проводилась видеосъемка экрана монитора стойки, что позволило оценить протекание процесса фрезерования на всех участках контура детали.

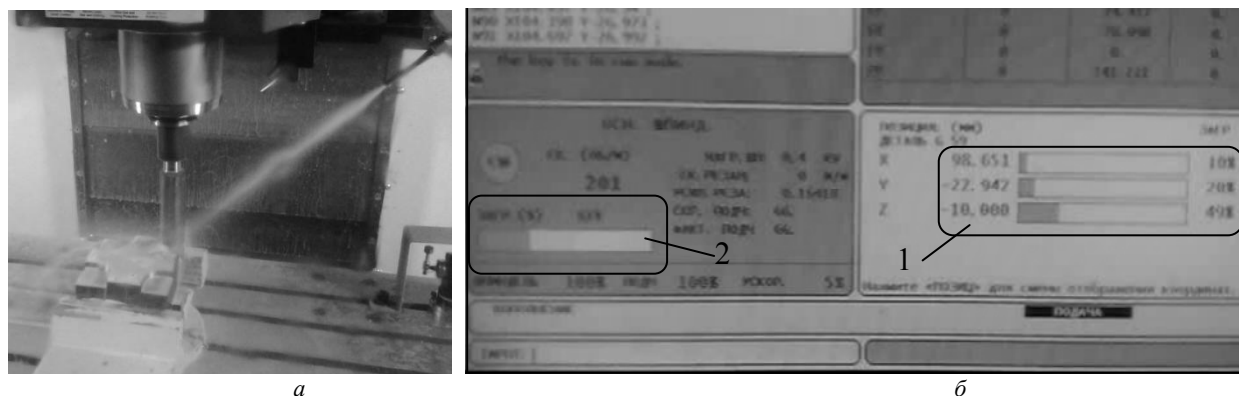


Рис. 7. Обработка детали на станке VF-3 HAAS (а) и экран монитора стойки с ЧПУ (б)

Анализ результатов видеосъемки полностью подтвердил достигнутую при спроектированном управлении стабилизацию процесса фрезерования – загрузка шпинделя на всех участках была постоянной и составляла 40%. Измерения обработанного контура выявили еще одно преимущество процесса с управлением подачи – точность обработанного контура увеличилась примерно в 2 раза по сравнению с обработкой при постоянной подаче.

Сравнение разработанного метода управления со стратегией Vortex демонстрирует некоторые преимущества, заключающиеся в том, что метод обеспечивает стабилизацию процесса фрезерования по главной его характеристике – силе (мощности) резания, может быть реализован на любых станках с ЧПУ без тестирования их динамических характеристик. Кроме того, учитывая возможность моделирования процесса срезания припуска каждым зубом, создаются предпосылки к оптимизации процесса резания, а именно, выбору такого уровня изменения средней подачи и частоты вращения фрезы, которые в условиях действия ограничений, в частности по шероховатости обработанной поверхности, позволяют обеспечить максимальную производительность.

**Управление по текущей информации.** Идея стабилизации процесса резания с помощью замкнутых систем автоматического управления (САУ) была реализована учеными школы Б.С.Балакшина еще в 80-е годы прошлого столетия. Однако неразвитость элементной базы, вычислительной техники и станков с ЧПУ не позволили довести экспериментальные образцы до промышленного использования. Значительные преимущества таких САУ в стабилизации процесса резания привлекали ученых и производителей и в настоящее время наконец появились надежные промышленные образцы. Фирма Omative System (США) предлагает систему, построенную на использовании текущей информации, реализованную на современном уровне для станков с ЧПУ, которые уже выпускаются ведущими фирмами и оборудованы различными датчиками. Именно эти датчики и используются фирмой в качестве датчиков обратной связи для своих САУ.

Основная идея, реализованная в САМ системе фирмы состоит в том, что в соответствии с информацией, получаемой от датчика в процессе обработки (например по мощности двигателя главного движения станка с ЧПУ) автоматически изменяется (переписывается) подача, величина которой была предварительно задана в управляющей программе в G-кодах рис.8 [10].

За счет этого стабилизируется процесс резания и гарантируется существенное повышение производительности при разных видах обработки. Учитывая, что обычно подача выбирается технологом-программистом исходя из наихудшего сочетания условий резания, средний уровень подачи при управлении со стабилизацией мощности резания будет значительно выше, а значит, увеличивается производительность обработки.

Причем, поскольку применяется текущее управление непосредственно через стойку ЧПУ и контроллеры приводов, фирма разработала разные версии, адаптированные к стойкам станков ведущих производителей: Siemens, Fanuc, Heidenhain. Как определяется необходимое соотношение, по которому выполняется регулирование – know how фирмы.

Учитывая перспективность такого управления и большой опыт по расчету и проектированию САУ, нами начаты работы в этом направлении. Уже создано и апробировано на станке SL20 HAAS программное

обеспечение для получения в цифровом виде текущей информации со станка во время резания. Доказано, что разработанное программное обеспечение позволяет адекватно идентифицировать различные характеристики процесса резания на станке с ЧПУ. Экспериментальные исследования подтвердили способность программного обеспечения выполнять функции канала обратной связи в системе автоматического управления процессом резания [11].

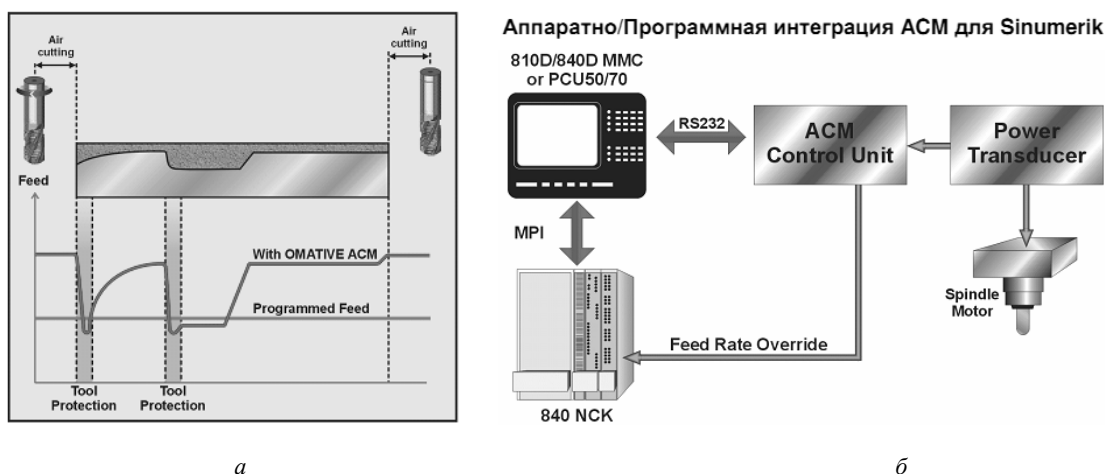


Рис. 8. Управление подачей Omativ System при фрезеровании (а) и структура САУ для стойки Sinumerik (б)

Функциональная схема САУ on-line управления процессом резания на станке с ЧПУ (рис.9) предусматривает использование некоторой характеристики процесса (например, мощности  $P$ ), которая может измеряться на станке в процессе обработки, в качестве цели управления и автоматического изменения воздействия на процесс (например, подачей  $F$ ) для стабилизации этой характеристики на заданном уровне (рис.9).

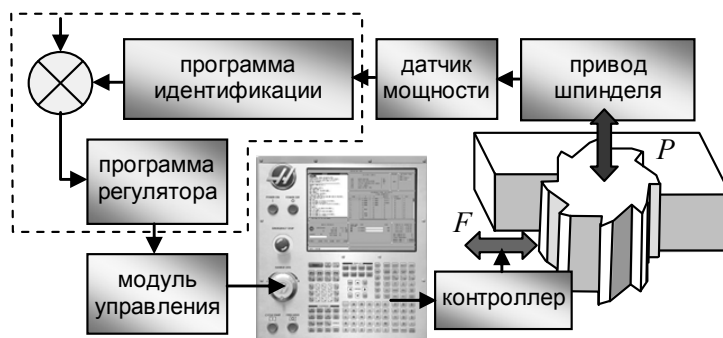


Рис. 9. Функциональная схема

Часть функциональных блоков САУ, обведенных пунктирной линией на рис.9, реализована программным методом в ПК, а модуль управления воздействует на стойку через стандартный разъем аналогично ручному управлению маховиком уменьшения или увеличения текущей подачи. В настоящее время разрабатываются математические модели управления, с помощью которых будет автоматически рассчитываться закон изменения подачи.

**Управление по апостериорной информации.** Такой метод управления используется преимущественно для повышения точности обработки путем коррекции формообразующей траектории [12]. Поскольку при обработке на станке с ЧПУ в балансе погрешности изготовления детали львиную долю занимает погрешность, вызванная упругими деформациями технологической обрабатываемой системы (ТОС), возникает возможность расчета деформации на основе априорной информации. Однако в большинстве случаев получение достоверных сведений о жесткости ТОС при выполнении конкретной операции весьма затруднительно. Поэтому для коррекции формообразующей траектории предлагается использовать результаты измерения уже обработанной детали для управления процессом обработки следующей, а при обработке сложных, дорогостоящих изделий в единичном производстве использовать результаты измерений после так называемого пробного прохода. Следует заметить, что распространенный механизм коррекции ЧПУ «на радиус» в данном случае абсолютно неприменим.

В соответствии с предлагаемой стратегией для обработки контура 1 детали при 2,5D фрезеровании фрезой 2 на первом проходе назначается удаление половины имеющегося припуска и траектория формообразования (линия 3 – массив  $[x_{mi}, y_{mi}]$ ) проектируется в используемой САМ системе (рис.10, а). При

обработке, вследствие упругих деформаций ТОО, фактическая траектория фрезы (линия 4) будет отличаться от теоретически рассчитанной и вместо запланированной поверхности (линия 5) будет обработана поверхность, обозначенная линией 6 на рис.10, а. После этого, непосредственно на станке, проводятся измерения обработанной поверхности щупом по специально спроектированной программе и результаты измерений передаются в прикладную программу, укрупненный алгоритм которой представлен на рис.10, б.

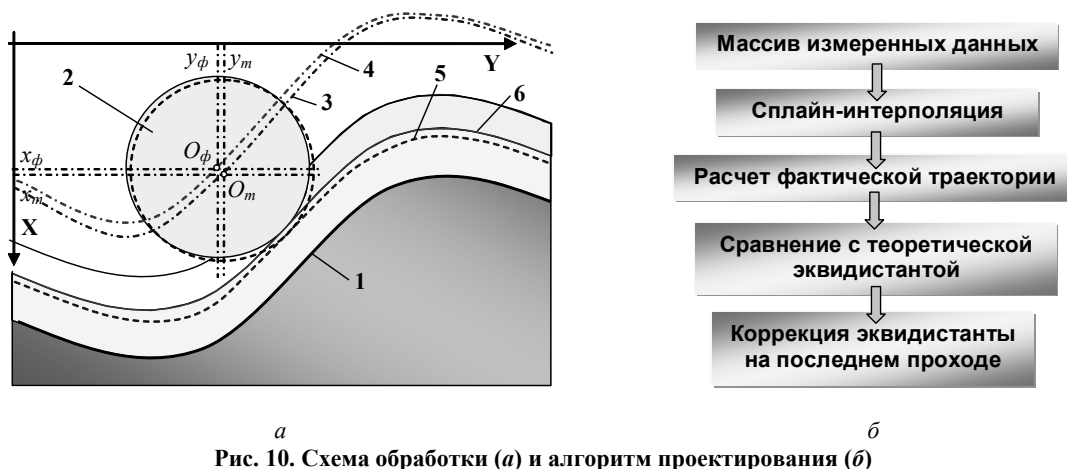


Рис. 10. Схема обработки (а) и алгоритм проектирования (б)

Цифровой массив данных, полученных при измерениях интерполируется сплайном и рассчитывается эквидистанта инструмента по отношению к этому интерполированному массиву [13]. Эти два массива и представляют фактическую траекторию центра фрезы при обработке – массив  $[x_{ф}]_i, [y_{ф}]_i$ . Затем по специально разработанной процедуре, которая учитывает замкнутость ТОО и предполагает идентичность условий обработки на втором проходе, рассчитывается коррекция траектории и, наконец, проектируется скорректированная эквидистанта на последнем проходе. При этом шаг расчета определяется, как и во всех САМ системах, исходя из требуемой точности воспроизведения кривых линейной интерполяцией (код G01) [14].

При существенном отличии условий обработки на этих двух проходах коррекцию необходимо рассчитывать используя подход, основанный на априорной информации, т.е. результаты моделирования срезания оставшегося припуска в виде величины MRR на каждом шагу моделирования сравниваются с результатами моделирования при удалении припуска на первом проходе по специально разработанной процедуре. В дальнейшем могут применяться и другие опции, например, прогнозируемое изменение жесткости заготовки после срезания припуска на первом пробном проходе при токарной обработке.

В дальнейшем, при расширении разработанной методики на 3D обработку, для получения массива данных измеренной поверхности предполагается использовать программный продукт фирмы Delcam PowerINSPECT. Этот программный продукт позволяет выполнять измерение деталей на координатно-измерительных машинах с подготовкой отчета об измерениях. Он предназначен, в основном, для измерения прототипов, мастер-моделей, электродов, формообразующих элементов пресс-форм, штампов, литейной оснастки и других изделий со сложной пространственной формой, где имеется объемная компьютерная модель и трудно использовать традиционные технологии измерения и отчетности. Переход к цифровому контролю оснастки позволит исключить использование шаблонов, которые сейчас традиционно используются при контроле изделий сложных форм. Однако, имеются возможности проведения таких измерений и непосредственно на станке с ЧПУ (рис.11) [15].

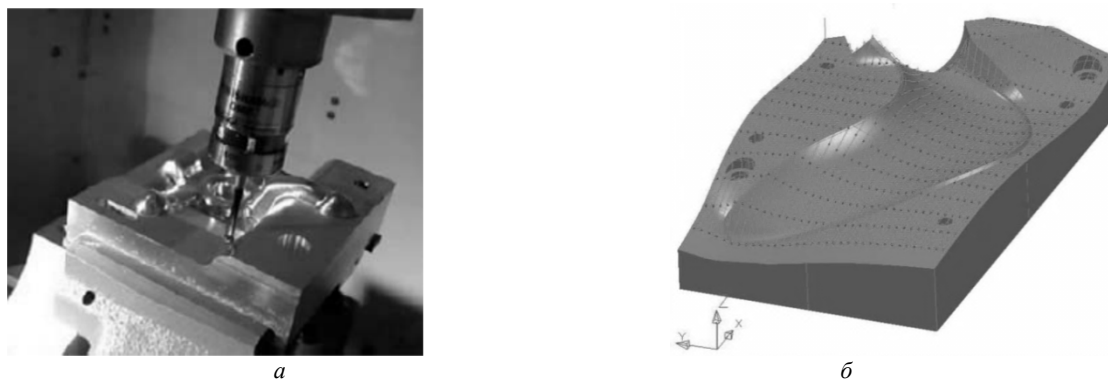


Рис. 11. Контроль через PowerINSPECT сложной поверхности штампа (а) и его компьютерная модель (б)

Проведение измерений непосредственно на станке взамен контрольно-измерительной машины в этом случае будет вполне оправдано, ведь при использовании этого инструмента в комплексе с разработанной программой коррекции, не смотря на потерю времени на измерения, позволит избежать существенных потерь от получения бракованного изделия. Вот почему такое направление исследований следует отнести к весьма перспективным для решения актуальной проблемы достижения точности при обработке сложных поверхностей.

**Оптимальное управление.** Задача оптимизации в классической постановке [16] предполагает определение таких управлений, которые, не нарушая условий ограничений, приводят к достижению максимума критерия оптимальности, как правило производительности. Ясно, что теоретически такое управление может быть обеспечено на основе информации любого типа: априорной, поточной или апостериорной. В настоящее время многие фирмы в рекламных данных о своих САМ системах заявляют об оптимизации, автоматическом выборе режимов резания и т.п. [17], однако, при ближайшем рассмотрении декларируемых возможностей становится очевидным, что ни одно решение не базируется на давно разработанных алгоритмах оптимизации процесса резания. Признаком справедливости этого заключения является тот факт, что при проектировании управляющей программы не запрашиваются сведения о мощности привода главного движения и максимально допустимой силе привода подачи станка, а эти сведения, как известно, являются обязательными при формировании ограниченной области возможных решений классической задачи оптимизации.

В 2008 году на кафедре технологии машиностроения НТУУ «КПИ» была предпринята попытка создания САМ системы с оптимизацией процесса для проектирования управляющих программ токарной обработки ступенчатых валов на станке с ЧПУ [18].

В соответствии с разработанным алгоритмом на интерфейсе задания технологических параметров (рис.12, а) выведены окна только тех параметров, которые определяют систему ограничений области возможных значений фазовой плоскости решения задачи оптимизации. Таким образом, все три компонента режима резания (скорость резания, подача и глубина резания) отсутствуют и определяются автоматически специально разработанными процедурами.

Прежде всего определяется оптимальная глубина резания по проходкам как результат итеративного поиска максимума производительности при черновой обработке, которая оценивается по скорости срезания припуска. Рассчитанная таким образом величина используется для проектирования траекторий при черновой обработке. Далее, на каждом шаге моделирования, выполняется поиск оптимального сочетания подачи и частоты вращения шпинделя с помощью процедуры оптимизации (точка А на рис.12, б) и эти значения сохраняются вместе с координатами формообразования в файле CLDATA.

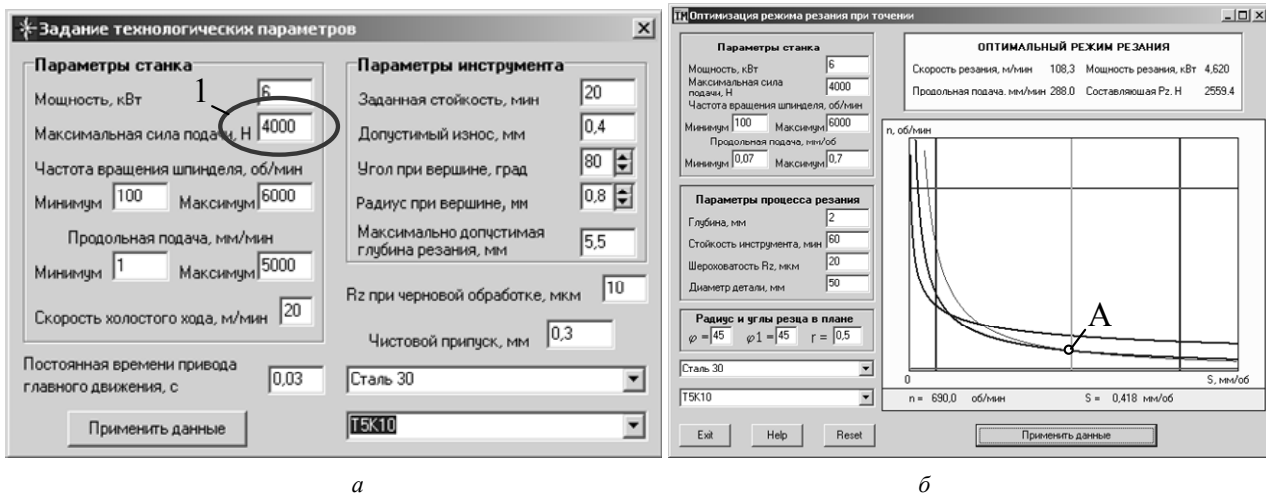


Рис. 12. Интерфейс задания технологических параметров (а) и решения задачи оптимизации (б)

Моделирование сопровождается визуализацией процесса обработки на дополнительном интерфейсе (рис.13, а), где также представляются данные по времени обработки и прогнозируемому износу инструмента. Моделирование обработки на рис.13, а соответствует исходным условиям и параметрам, введенным в окна интерфейса, показанного на рис. 12, а. Результаты функционирования процедуры оптимизации можно наблюдать на рис.13, б, где линией 1 показано изменение глубины резания, а линиями 2 и 3 – частоты вращения шпинделя и продольной подачи соответственно.

При изменении исходных данных, например, максимально допустимой силы подачи (окно 1 на рис.12, а) программа автоматически определяет оптимальный режим резания, соответствующий измененным условиям. На рис.13, в представлен интерфейс моделирования процесса при изменении максимально допустимой силы в 2 раза до 2000Н. Процесс черновой обработки выполняется уже за 5 проходов, а рассчитанный автоматически



оптимальный режим резания для измененных условий также изменился (линии 1, 2 и 3 на рис.13, г). И хотя прогнозируемое время черновой обработки увеличилось с 1,5 мин до 1,7 мин, режим резания и в этом случае является оптимальным.

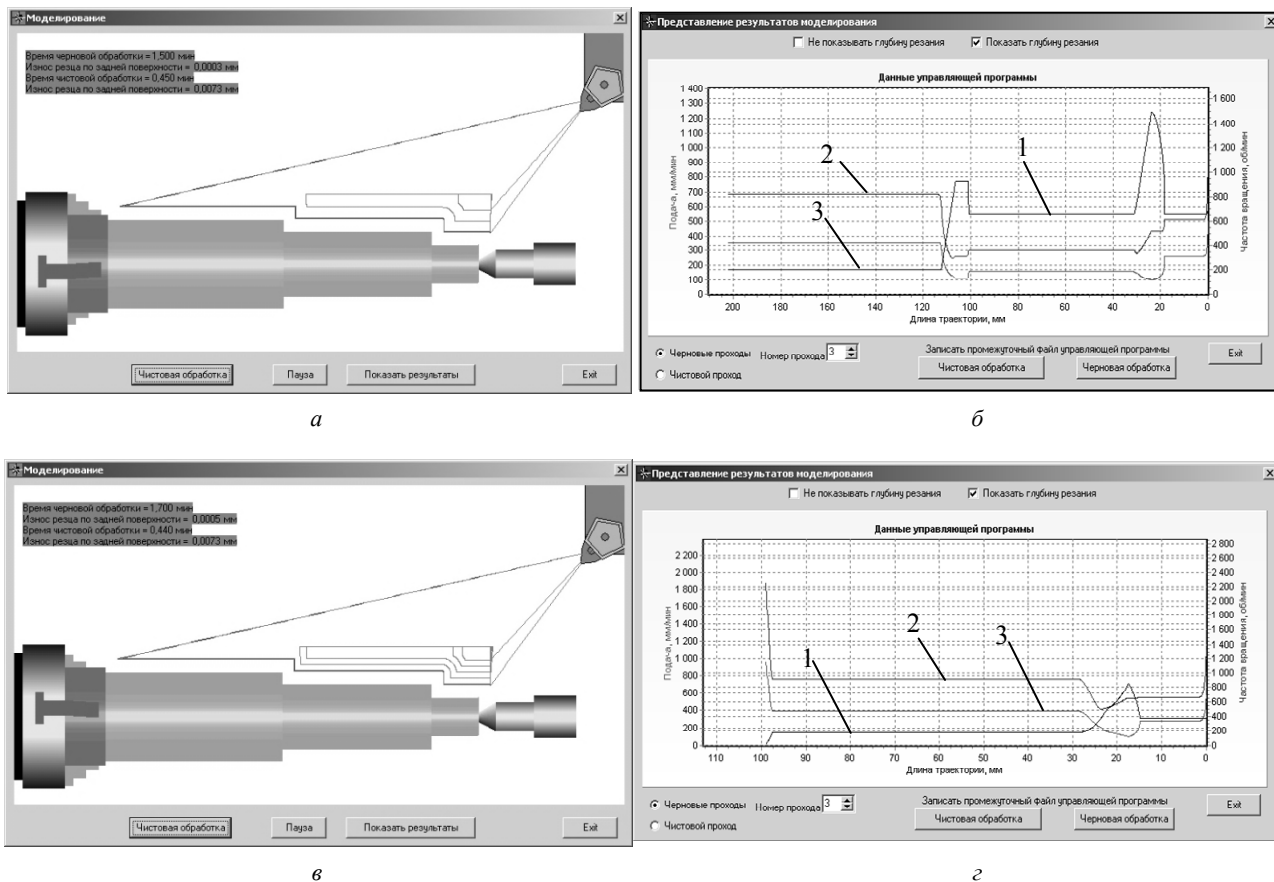


Рис. 13. Результаты проектирования управляющей программы с оптимизацией режима резания

Представленная САМ система для проектирования управляющих программ токарной обработки ступенчатых валов на станке с ЧПУ прошла практическую апробацию и доказала свою эффективность.

### Выводы

1. Представленный обзор состояния САМ систем показывает, что прослеживается явная тенденция к управлению процессом резания с целью его стабилизации. Такое управление осуществляется по априорной или текущей информации, причем стабилизация по априорной информации выполняется за счет геометрических трансформаций траектории формообразующих движений, рассчитанных исходя из стабилизации угла резания, что не приводит к стабилизации основных характеристик процесса и вызывает существенные трудности при реализации, связанные с необходимостью тестирования станка для определения его динамических характеристик перед проектированием управляющей программы.
2. Управление по текущей информации является весьма перспективным, но требует наличия на станке датчиков обратной связи и сопровождается аппаратной модернизацией системы его управления. Кроме того, алгоритмы управления еще нуждаются в совершенствовании, как в плане быстрействия, устойчивости системы в целом, так и в плане выбора цели управления.
3. Управление по апостериорной информации в настоящее пока еще не применяется в САМ системах, однако для решения задачи повышения точности обработки, особенно сложных поверхностей, такое управление является весьма перспективным, учитывая фактическую недостоверность априорной информации о жесткостных характеристиках ТСО во время обработки.
4. Проектирование управляющей программы с оптимальным режимом резания должно основываться на решении классической однокритериальной задачи оптимизации, а глубина резания на черновых проходах рассчитываться по максимуму критерия скорости срезания припуска.

**Анотація.** Представлений аналіз сучасних тенденцій розвитку САМ систем. Показано, що у нових версіях САМ систем застосовуються методи управління процесом різання з метою його стабілізації. Управління проектується на основі апріорної інформації і передбачає розв'язання задачі стабілізації за рахунок виконання складних рухів за трохоїдальною траєкторією, параметри якої розраховуються входячи з критерію стабілізації кута різання, що, в принципі, не приводить до стабілізації процесу за його головними характеристиками. Пропонується вирішення задачі стабілізації за силою різання управлінням за подачею, закон зміни якої розраховується автоматично при моделюванні процесу різання. Управління на основі поточної інформації передбачає створення систем автоматичного управління зі зворотним зв'язком за параметром процесу різання, що контролюється. Створене програмне забезпечення для ідентифікації процесу різання, яке може використовуватись в якості каналу зворотного зв'язку. Управління за апостеріорною інформацією доцільно застосовувати для підвищення точності обробки. Розроблений алгоритм такого управління, який використовує дані вимірювань поверхні деталі після пробного проходу для корекції траєкторії на останньому проході. Представлений досвід створення САМ систем оптимального управління для токарної обробки.

**Ключові слова:** САМ система, верстати з ЧПК, управління процесом різання.

**Abstract.** The analysis of modern progress trends of CAM systems is presented. It is presented that in update versions of CAM systems the methods of cutting process control are used with the purpose of its stabilization. A control is designed on the basis of apriority information and supposes the solution of stabilizing task due to implementation of complex motions on a trochoidal trajectory. The trajectory parameters are calculated based on the criterion of cutting angle stabilization, that, in principle, does not result in stabilizing of process on its main characteristics. Solution of stabilizing task is offered on force of cutting with a control on a serve, the law of change of which settles accounts automatically at the simulation of cutting process. A control on the basis of current information foresees creation of the systems of automatic with loop-control on the controlled parameter of cutting process. Software is created for authentication of process of cutting which can be utilized as a feed-back control channel. Control on a posteriori information it is expedient to apply for an increase accuracy of machining. The algorithm of such control, which utilizes information of measuring of surface of detail after a trial passage-way for the correction of trajectory on the last passage-way, is developed. Experience of creation systems of optimum control for lathe treatment is presented.

**Keywords:** CAM system, CNC machine, control of cutting.

#### Библиографический список использованной литературы

1. Суханов Ю. Проект «короли» и «капуста» на рынке САМ / ж. CAD/CAM/CAE Observer, №1 (61), 2011.-с.22-27.
2. Суханов Ю. Проект «короли» и «капуста» на рынке САМ / ж. CAD/CAM/CAE Observer, №7 (67), 2011.-с.28-36.
3. Суханов Ю. Проект «короли» и «капуста» на рынке САМ / ж. CAD/CAM/CAE Observer, №3 (71), 2012.-с.10-25.
4. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Теория автоматического управления технологическими системами / М.: Машиностроение, 2008. – 336с.
5. Петраков Ю.В. Развитие САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ: Монографія. – К.: Січкара, 2011. – 220с.
6. Евченко К., Пинчук А. PowerMill 2013: стратегия Vortex и новые возможности для программирования пятиосевой обработки / САПР и графика, №11, 2012.- с.88-91.
7. Jerard. R., Fussell B., Ercan M. On-line Optimization of Cutting Conditions for NC Machining // Manufacturing & Industrial Innovation Research Conference, Tampa, Florida, 2011.
8. Machine DNA Profiler — новая технология оптимизации управляющих программ для станков с ЧПУ от компании Delcam / САПР и графика № 6, 2012. – С. 80 – 81.
9. Петраков Ю.В., Клавак А.М., Симута Р.Р. Управление 2,5D фрезерованием на станке с ЧПУ при использовании САМ систем. Міжнародний збірник наукових праць «Прогресивні технології і системи машинобудування», Донецьк, 2012, с.198-206.
10. Системы адаптивного регулирования и мониторинга для металлообрабатывающих станков с CNC / <http://www.omative.com/173890/ACM>.
11. Петраков Ю.В., Кореньков В.М., Мацківський О.С. Ідентифікація процесу різання на верстаті з ЧПК / 36. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем, №32, Краматорськ, 2013. с.312-316.
12. Петраков Ю.В. Методи управління точністю оброблення різанням: Сб. Вестник Национального технического университета Украины «КПИ», №48, 2006.-с.102-110.
13. Хазанова О.В. Управление точностью обработки сложно-профильных, деталей на станках с ЧПУ с использованием сплайновой интерполяции // Труды IV Международного конгресса "Конструкторско- технологическая информатика-2000". — М.: МГТУ «Станкин», 2000. —Т. 2. — С . 238-240.
14. D.Zhang, P.Yang, X.Qian Adaptive NC Path Generation from massive point data with bounded error / Journal of manufacturing Science and Engineering, ASME, 2009. vol.131/011001-1
15. Ведмидь П., Власов В. PowerINSPEKT OMT – новый продукт семейства Power Solution / ж. САПР и графика, №4, 2007. – с.80-82.
16. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Автоматическое управление процессами резания: учебное пособие. Старый Оскол: ТНТ, 2011.-408с.
17. Mastercam Balic J. Sntelligent CAD/CAM systems for CNC programming – an overview / Advances in Production Engineering & Managmnt ISSN 1854-6250 1(2006) 1, pp.13-22.
18. Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз, Модуль оптимизации токарной обработки ступенчатых валов на станках с ЧПУ / Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. Вип.34. – Донецьк: ДонНТУ, 2008.-С.154-162.

## References

1. *Suchanov Y.* Proekt «koroly» i «kapusta» na rynku CAM / g. CAD/CAM/CAE Observer, №1 (61), 2011.-p.22-27.
2. *Suchanov Y.* Proekt «koroly» i «kapusta» na rynku CAM / g. CAD/CAM/CAE Observer, №7 (67), 2011.-p.28-36.
3. *Suchanov Y.* Proekt «koroly» i «kapusta» na rynku CAM / g. CAD/CAM/CAE Observer, №3 (71), 2012.-p.10-25.
4. *Petrakov Y.V., Drachev O.I.* Teoria avtomaticheskogo upravleniya technologicheskimi sistemami. Moskow: Mashinostroenie, 2008. – 336p.
5. *Petrakov Y.V.,* Rozvitok CAM-sistem avtomatizirovanogo programuvanna verstativ z CNC: Monografia. Kyiv: Sichkar, 2011. 220p.
6. *Evchenko K., Pinchuk A.* PowerMill 2013: strategiya Vortex i novie vozmozhnosti dlia programmirovania piatiosevoy obrabotki. SAPR i graphika, no 11, 2012. p.88-91.
2. *Jerard. R., Fussell B., Ercan M.* On-line Optimization of Cutting Conditions for NC Machining. Manufacturing & Industrial Innovation Research Conference, Tampa, Florida, 2011.
3. *Machine DNA Profiler* — nova technologiya optimizacii upravlaucshich programm dlia stankov CNC ot kompanii Delcam. SAPR i graphika no 6, 2012. p. 80 – 81.
4. *Petrakov Y.V., Klavak A.M., Simuta R.R.* Upravlenie 2,5D frezerovaniem na stanke CNC pri ispolzovanii CAM system. Mignarodny zbirnyk naukovih prac «Progresivni tehnologii i sistemi machinobuduvanna», Doneck, 2012, p.198-206.
5. *Systemi adaptivnogo regulirovania i monitoringa dlia metalloobrabatvaucshich stankov CNC.* <http://www.omative.com/173890/ACM>.
6. *Petrakov Y.V., Korenkov V.M., Mackivsky O.S.* Identifikacia procesu rizannia na verstatii CNC. Zb. Nadiynist instrumentu ta optimizacia technologichnich system, no 32, Kramatorsk, 2013. p.312-316.
7. *Petrakov Y.V.* Metody upravlinna tochnistu obrobлена rizannam. Zb. Vestnik Nacionalnogo technicheskogo universitetu Ukrainy «KPI», no 48, 2006.p.102-110.
13. *Hazanova O.V.* Upravlenie tochnostu obrabotki slojno-profilnich detaley na stankah CNC s ispolzovaniem splainovoy interpolacii. Trudy IV Megdunarodnogo kongressa "Konstruktorsko-tehnologicheskaya informatika-2000". Moskow: MGTU «Stankin», 2000. V. 2. p. 238-240.
14. *D.Zhang, P.Yang, X.Qian* Adaptive NC Path Generation from massive point data with bounded error. Journal of manufacturing Science and Engineering, ASME, 2009. vol.131/011001-1
15. *Vedmid P., Vlasov V.* PowerINSPECT OMV – noviy produkt semeystva Power Solution. g. SAPR i graphika, no 4, 2007. p.80-82.
16. *Petrakov Y.V., Drachev O.I.* Avtomaticheskoe upravlenie processami rezania: uchebnoe posobie. Stary Oskpl: TNT, 2011. 408p.
17. *Mastercam Balic J.* Snteligent CAD/CAM systems for CNC programming – an overview. Advances in Production Engineering & Managmnt ISSN 1854-6250 1(2006) 1, pp.13-22.
18. *Petrakov Y.V., Amin Kambiz* Modul optimizacii tokarnoy obrabotki stupenchaich valov na stankah CNC. Progresivni tehnologii i sistemi mashinobuduvanna: Midnarodniy z,irnik naukovih prac. Vip.34. Doneck: DonNTU, 2008. p.154-162.