



**КУЗНЕЦОВ**  
**Евгений Юрьевич**  
аспирант кафедры  
«Технология  
машиностроения»  
(Тульский государственный  
университет)

## Программное обеспечение для автоматической разработки управляющих программ для многопроходного нарезания витков червяков на станках с ЧПУ

**Е. Ю. Кузнецов**

*Рассмотрена система автоматизированного программирования токарных станков с ЧПУ для многопроходного нарезания витков червяков. Показаны принципы работы с программным продуктом и реализуемые им функции.*

**Ключевые слова:** червяк, нарезание витков червяков резцом, АСТПП, САМ, управляющая программа.

*The article focuses on a system of computer-aided programming of CNC lathes for multipass cutting of worm threads. The principles of operation with the software package and functions implemented by this software are shown.*

**Keywords:** worm, cutting worm thread by cutter, CAM, CNC program.

Процесс многопроходного нарезания витков червяков зависит от различных параметров и их сочетания. В частности: конструкции, геометрии и стойкости режущего инструмента, условий его охлаждения и смазки; химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала; типа и состояния оборудования, вспомогательного инструмента и приспособлений; микроклимата и т.д. Наглядность отклонений таких параметров от номинальных величин в технологических режимах механической обработки изделия позволит повысить эффективность и стабильность протекания процесса резания. Автоматизация всех необходимых расчетов и их дальнейший учет в управляющей программе обеспечит высокий уровень гибкости производства.

Для реализации этой задачи необходимо не только иметь соответствующие методики, оперативно адаптируемые под конкретное предприятие, но и соответствующее программное обеспечение, так как стандартный, многократно повторяемый, цикл нарезания резьбы, используемый в таких случаях применительно к обработке витков червяков, имеет ряд ограничений, рассмотренных в работе [1, 2] на примере цикла G76 системы ЧПУ FANUC SERIES oi-TC. Такое программное обеспечение должно отвечать следующим требованиям:

— учет возможно большего количества значимых параметров (при этом определяющим в выборе того или иного параметра должен быть рациональный баланс между значимостью параметра и простотой по-

лучения информации о нем или достоверностью его аналитического расчета);

- максимальная универсальность, возможность корректировки заложенного математического аппарата;

- возможность сохранения текущего результата по конкретной детали для его возможной дальнейшей корректировки и нахождения оптимального решения;

- достоверность результата.

При этом программное обеспечение должно иметь доступный интерфейс, который позволит работать исполнителю с невысокой квалификацией и низкой компьютерной грамотностью.

Первым шагом к созданию такого программного обеспечения стала автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП)/САМ (англ. computer-aided manufacturing), рассмотренная ниже, с недавнего времени используемая на ЗАО «Тулаэлектропривод». Предприятие имеет широкую номенклатуру червяков нарезаемых токарным способом [3]. При этом в связи с проводимой глубокой модернизацией производства, а также внедрением широкого ряда новых изделий, остро стоит вопрос оперативной разработки управляющих программ нарезания резцом витков червяков на токарных станках с ЧПУ.

Для решения такой задачи специалистами кафедры технологии машиностроения Тульского государственного университета разработан программный пакет, непосредственной задачей которого является генерация управляющей программы для обработки червяков на станках с ЧПУ по минимальному объему исходных данных. Программа кроме расчета подачи и непосредственной генерации управляющей программы посредством встроенного постпроцессора предлагает рациональное число формообразующих проходов [4], а также дает рекомендации по выбору участков разгона  $\delta_1$  и торможения  $\delta_2$ , влияние которых на точность хода червяка рассмотрено в работе [5].

Остановимся подробнее на описываемом программном продукте, заложенных в нем

принципах и выполняемым им комплексом работ.

Работа с программой осуществляется в несколько этапов. Каждому этапу ввода/расчета исходных данных соответствует своя форма, переход между которыми осуществляется клавишами «Next» (Далее), «Back» (Назад).

На первом этапе (форма 1) осуществляется ввод обязательных параметров червяка необходимых для дальнейших расчетов (рис. 1). К таким параметрам относятся: module (модуль  $m$ ); number of starts (число заходов  $z$ ); pitch diameter (делительный диаметр червяка  $d_1$ ); a radial backlash factor (коэффициент радиального зазора у поверхности впадин червяка  $c_1^*$ ); face width (длина нарезанной части червяка  $b_1$ ), а также brinell hardness number — твердость материала червяка (по Бринеллю).

Необходимо обратить внимание на тот факт, что ряду величин, в рассматриваемом блоке такой является  $c_1^*$ , по умолчанию задано наиболее часто используемое значение. Однако это не означает, что его нельзя корректировать.

Для удобства пользователя в программе предусмотрена система подсказок, включающая в себя как графическое толкование вводимых параметров, так и текстовое описание, отобра-

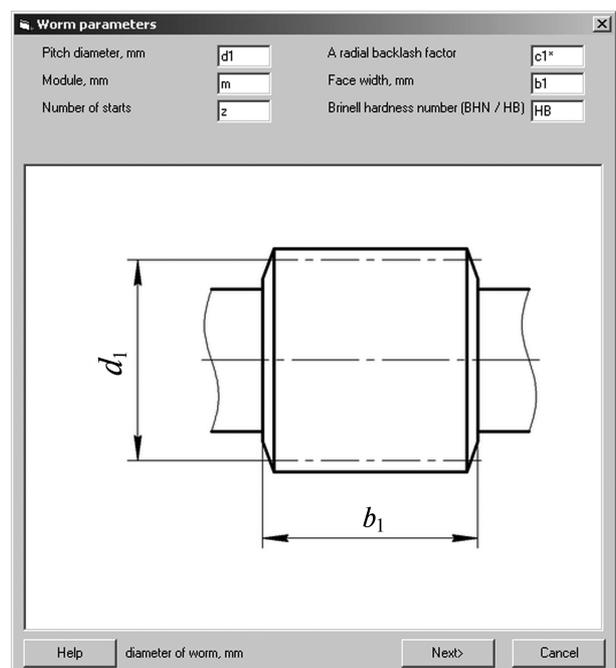


Рис. 1. Форма программы Worm parameters (параметры червяка)

жаемое в нижней части формы при наведении курсора на тот или иной элемент интерфейса программы. Так, например, на рис. 1 видно, что при вводе диаметра  $\delta_1$  на иллюстрации в графическом окне формы соответствующая величина выделена зеленым цветом, а в нижней части отображается надпись «diameter of worm, mm».

Переход ко второму этапу (форме 2) ввода исходных данных (рис. 2, а) осуществляется посредством клавиши «Next». Здесь задается информация по участкам автоматического ускорения  $\delta_1$  (acceleration distance) и торможения  $\delta_2$  (deceleration distance). Как показано в работе [5], эти величины имеют вполне определенные минимальные значения, исключающие ошибку хода червяка. Это в первую очередь связано с тем, что в станках с ЧПУ, в отличие от универсальных станков или станков-автоматов, отсутствует жесткая кинематическая связь между вращением шпинделя и продольным перемещением реза.

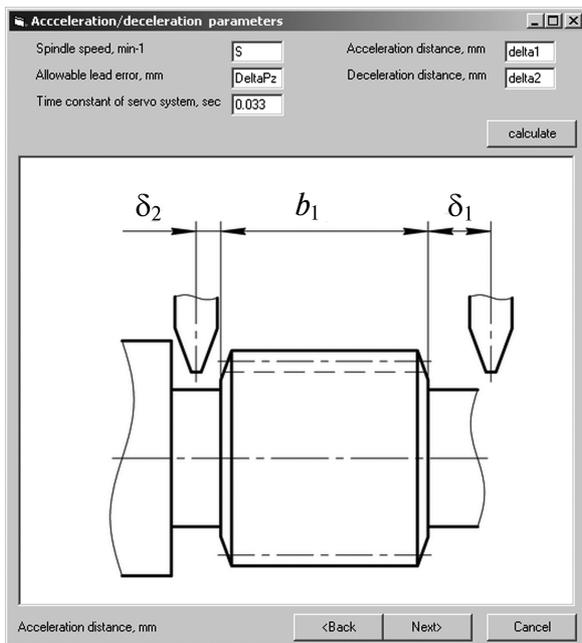
Расчет участков  $\delta_1$  и  $\delta_2$  ведется исходя из скорости резания, для определения которой задаются обороты шпинделя  $S$  (spindle speed), допустимая погрешности хода витка (allowable

lead error), а также постоянная времени сервосистемы (time constant of servo system).

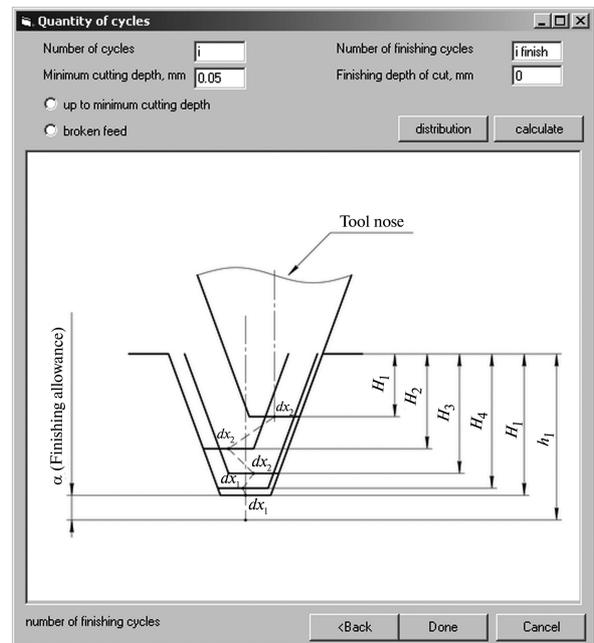
После ввода указанных исходных данных и нажатия кнопки «calculate» (расчет) в соответствующих графах выдаются минимальные значения величин участков ускорения и торможения. При необходимости эти значения можно корректировать вручную как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. При этом следует принимать во внимание неизбежные ошибки хода винтовой линии на конце и (или) начале нарезанной части червяка [5]. Появление таких ошибок неизбежно в том случае, если принятая для дальнейших расчетов величина ускорения и (или) торможения меньше предложенной программой. В противоположном случае, т.е. при значительном превышении рекомендуемых величин  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , неизбежно искусственное увеличение машинного времени.

Возможен также вариант, при котором величины  $\delta_1$  и  $\delta_2$  изначально задаются пользователем вручную, при этом остальные значения этой формы опускаются.

Третья форма программы, показанная на рис. 2, б определяет закон изменения подачи



а



б

Рис. 2. Формы программы:

а — Acceleration/deceleration parameters (параметры участков автоматического ускорения и торможения);  
 б — Quantity of cycles (количество циклов)

( $a_i$ ) от прохода к проходу, а также позволяет рассчитать рациональное число ( $i$ ) формообразующих проходов. Перед дальнейшим рассмотрением работы программы необходимо подробнее остановиться на принципах распределения и удаления припуска, которые реализует программа.

Программа предусматривает снятие припуска в два этапа.

Черновая обработка осуществляется по схеме переменного резания с равномерным убыванием подачи, описываемым зависимостью

$$a_i = \left( \frac{h_1}{\sqrt{n}} (\sqrt{i} - \sqrt{i-1}) \right), \quad (1)$$

где  $h_1$  — теоретическая высота профиля, мм;  $n$  — общее число проходов;  $i$  — номер прохода.

Такая схема позволяет выравнять по силам процесс формообразования, а поочередное удаление припуска то правой то левой режущими кромками резца облегчает условия образования стружки и, как следствие, уменьшает силы резания. В конечном итоге выравнивание нагрузки на резец по отдельным проходам будет способствовать более рациональному использованию прочностных свойств резца, что может обеспечить сокращение числа проходов и повышение производительности обработки.

Расчет необходимого числа формообразующих проходов  $n$  ведется по одному из двух вариантов, реализуется, как и в предыдущей форме, после нажатия клавиши «calculate»:

а) по зависимости (1) (флажок «up to minimum cutting depth») с условием, что величина последнего прохода не превышает величины указанной в графе «minimum cutting depth, mm» (минимальная толщина срезаемого слоя). Необходимо уточнить, что величина минимальной толщины срезаемого слоя (подача  $a_i$ ) введена не случайно, так как в случае ее чрезмерно малого значения резец будет работать в неблагоприятных условиях и интенсивно изнашиваться, а обработанная поверхность получится невысокого класса чистоты (более подробно вопрос минимально допустимой толщины сре-

заемого слоя рассмотрен в работе [6]). Таким образом, в случае, если расчетная величина подачи, полученная по формуле (1), будет меньше значения, указанного пользователем, то значение подачи на текущем проходе будет округлено в большую сторону до соответствующей величины;

б) по зависимости, предложенной в работе [4] (флажок «broken feed»), в которой в основе определения допустимой толщины среза лежит метод «ломающих подач».

Чистовая обработка ведется по профильной схеме (схема с радиальным направлением врезания) с постоянной величиной подачи на каждом проходе. При этом как величина подачи  $a_{fin}$  (finishing depth of cut), так и количество формообразующих проходов  $i_{fin}$  (number of finishing cycles) задается пользователем вручную в соответствующих графах формы 3. В случае, если в зачистных проходах нет необходимости, пользователю достаточно присвоить величине  $i_{fin}$  нулевое значение ( $i_{fin} = 0$ ).

Упрощенная схема работы программы показана на рис. 3.

Для повышения гибкости производства служит также модуль, предусматривающий обработку впадины универсальным резцом, выполненным для червяков имеющих разную делительную толщину витка ( $\bar{S}_{a1}$ ). На этапе зачистных проходов модуль предусматривает осевое смещение резца при его позиционировании на величину  $a_{1z}$ , рассчитываемую по формуле:

$$a_{1z} = \left( \frac{P_{z1}}{z_1} - \bar{S}_{a1} \right) - \bar{S}_{a1r},$$

где  $P_{z1}$  — ход витка червяка, мм;  $z_1$  — число витков червяка;  $\bar{S}_{a1}$  — делительная толщина по хорде витка червяка, мм;  $\bar{S}_{a1r}$  — делительная толщина резца, мм. При этом учитывается возможное разделение указанной величины на несколько проходов в случае, если последняя превышает заданную величину максимальной осевой подачи.

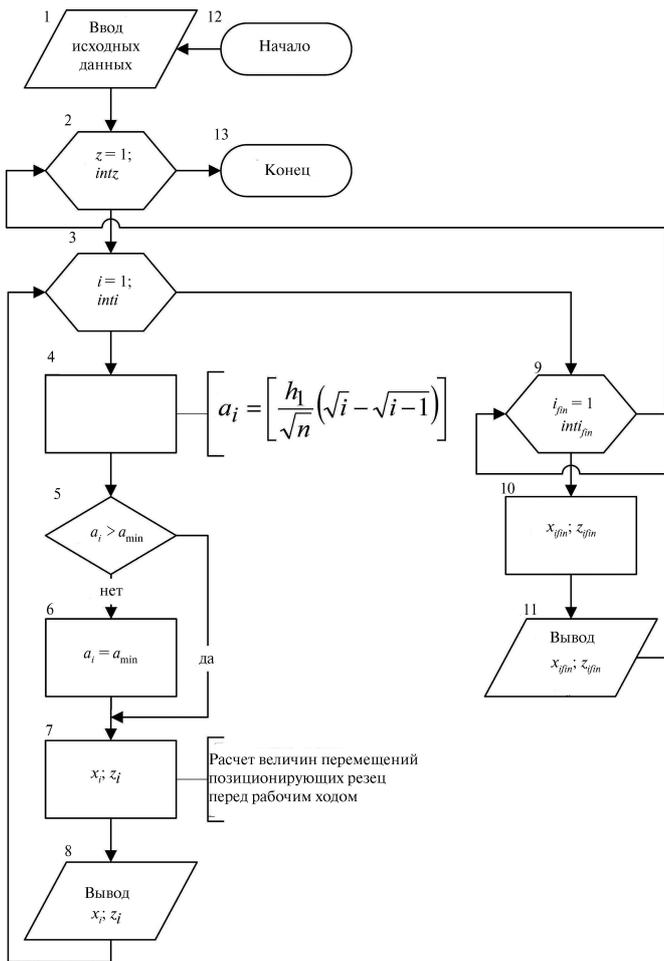
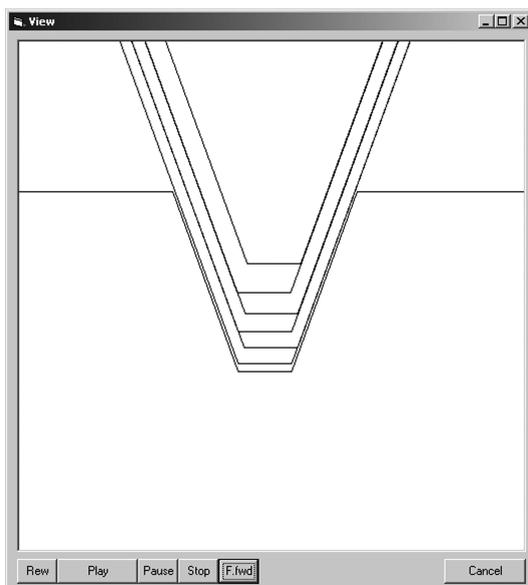


Рис. 3. Упрощенная схема алгоритма программы

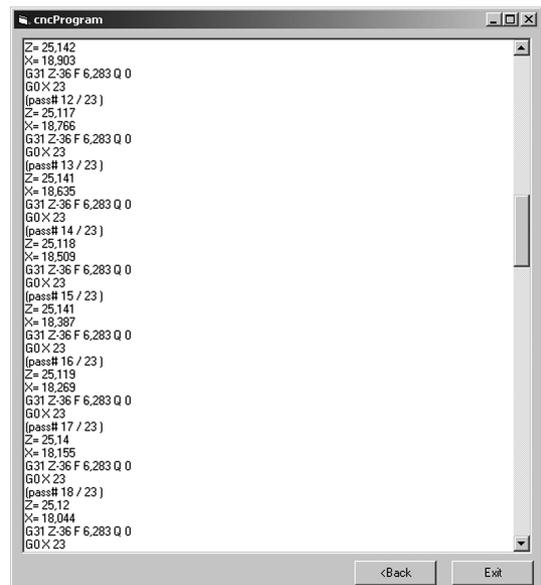
Перед генерированием управляющей программы пользователь может визуально оценить реализуемую схему резания — кнопка «distribution» (распределение). Для этого предусмотрен соответствующий модуль, который позволяет просмотреть процесс удаления припуска как пошагово (каждый новый проход появляется при очередном нажатии соответствующей кнопки), так и в динамике (рис. 4, а). При этом также формируется отчет в формате MS Excel, который кроме расширенного списка исходных данных, используемых в программе при расчетах, содержит таблицу с данными, характеризующими условия удаления припуска для каждого прохода.

Управляющая программа выводится после нажатия кнопки «Done» (Готово) в текстовом поле отдельной формы spcProgram (управляющая программа), изображенной на рис. 4, б.

Сформированная управляющая программа нарезания витков червяка содержит все необходимые начальные и завершающие блоки, что позволяет без корректировки и доработки простым копированием поместить его в тело основной управляющей программы обработки червяка, в которой сформированная управляю-



а



б

Рис. 4. Формы программы: а — View (просмотр); б — spc Program (управляющая программа)

щая программа должна следовать за адресом выбора режущего инструмента.

Рассмотренный программный пакет существенно сокращает время разработки управляющей программы обработки витков червяков, что позволит говорить о действительно высоком уровне гибкости производства и максимально коротких сроках его подготовки. При этом благодаря возможности формирования отчета, при генерировании управляющей программы, рассматриваемый продукт позволяет анализировать полученные практические результаты и отслеживать возможные пути оптимизации процесса резания и оперативного внесения изменений в управляющую программу.

Очевидным недостатком рассмотренного программного продукта является громоздкость получаемой управляющей программы, что влечет за собой значительные трудности при ее корректировке на рабочем месте, а также некоторые неудобства при работе с программой в целом в цеховых условиях, однако таким недостатками обладают все АСТПП/САМ системы.

## Литература

1. *Кузнецов Е. Ю.* Анализ использования многократно повторяемого цикла нарезания резьбы резцом для формирования витков червяков на примере функции G76 системы ЧПУ Fanuc series oi-TC. IV-я молодежная научно-практическая конференция студентов Тульского государственного университета «Молодежные инновации»: Сб. докладов. Часть 2-я / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А. Тула: изд-во ТулГУ, 2009. 116—118 с.
2. *Кузнецов Е. Ю.* Особенности программирования нарезания витков червяков на примере системы ЧПУ Fanuc series Oi-TC. IV-я молодежная научно-практическая конференция студентов Тульского государственного университета «Молодежные инновации»: Сб. докладов. Часть 2-я / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е. А. Тула: изд-во ТулГУ, 2009. 118—120 с.
3. А.с. 931296 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В 23 В 1/00. Способ нарезания резьб резцами / А.С. Ямников (СССР). № 2714217/25—08; заявл. 17.01.79; опубл. 30.05.82, Бюл. № 20. 4 с.: ил.
4. *Антонов Н.П.* Скоростное нарезание резьбы резцами методом последовательных проходов // Технология машиностроения. Исследования в области технологии машиностроения и режущего инструмента. 1971. Вып. 23. С. 17—28.
5. *Кузнецов Е.Ю.* Особенности автоматизации нарезания витков многозаходных червяков за счет использования токарных станков с ЧПУ // Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения. 2009. В 2-х частях. Часть 2. С. 63—66.
6. *Львов Н.П.* Определение минимально возможной толщины срезаемого слоя // Станки и инструмент. 1969. № 4. С. 21—33.

Статья поступила в редакцию 07.04.2011 г.