

**Висновок.** Розроблена комп'ютерна програма, яка моделює процес відрізання дисковою фрезою з довільною конструкцією різальної частини заготовки довільного профілю і дозволяє визначити часові залежності складових сили різання як для фрези в цілому, так і для окремого зуба в будь-якій його точці зокрема. Данна програма є основою для створення в майбутньому САПР відрізних фрез.

**Список літератури:** 1. Семенов А.В. Разработка дисковых пил с неравномерным шагом: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. — К., 1998. — 194 с. 2. Лорох Р. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. — К., 1998. — 198 с. 3. Розенберг Ю.А., Лахман С.И. Силы резания и методы их определения: В 2 ч. — Курган: КМИ, 1995. — Ч.1: Общие положения. — 128 с. 4. Розенберг Ю.А., Тахман С.И. Силы резания и методы их определения: В 2 ч. — Курган: КМИ, 1995. — Ч.2: Расчет сил при различных видах обработки. — 104 с. 5. Равська Н.С., Панчук В.Г. Узагальнена теорія визначення геометричних параметрів різальної частини відрізних фрез. // Вестник національного техніческого університета України “Київський політехнічний інститут”. Машиностроєні. — К.: НТУУ “КПІ”. — 2007. — № 50. — С. 34–39. 6. Панчук В.Г., Рублюк О.В. Розрахунок площин зрізу для відрізних фрез довільної конструкції. // Вісник Хмельницького національного університету. — Хмельницький, ХНУ. — 2007. Т. 1, № 6. — С. 7–10. 7. Галицька Н.О., Панчук В.Г., Рублюк О.В. Чисельний метод визначення кута контакту відрізної фрези. // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. зб. наук. праць. — Донецьк: ДонНТУ. — 2008. — № 35. — С. 27–31. 8. Панчук В.Г., Рублюк О.В. Метод визначення профілю заготовки при моделюванні процесу відрізання фрезами. // Вестник національного техніческого університета України “Київський політехнічний інститут”. Машиностроєні. — К.: НТУУ “КПІ”. — 2008. — № 53. — С. 67–75.

Сдано в редакцию 14.05.08

## МОДУЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ

**Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз** (Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина)

*A design technique technological operations of lathe treatment, oriented to the use of CAM-system for machine-tools with CNC, is offered. The module of optimization of sharpening process, intended for building in CAM-system and capable in the automatic mode to expect the optimum laws of cutting process control, is presented.*

**Актуальность.** В современном машиностроительном производстве для технологической подготовки токарных операций на станках с ЧПУ все шире используются САМ-системы (Computer Aided Manufacturing). В соответствии с типовой структурой управления станком с ЧПУ с помощью САМ-системы в ней решаются следующие задачи:

- ✓ геометрические задачи проектирования формообразующих траекторий движений инструмента и заготовки;
- ✓ проектирование элементов технологической операции;
- ✓ проверка геометрических расчетов и визуализация процесса обработки;

- ✓ формирование управляющей программы (УП) соответственно кодам постпроцессора выбранного станка.

Тем не менее, даже у современных САМ-систем отсутствует модуль, позволяющий в автоматическом режиме рассчитывать режим резания. Назначение подачи (т.е. скорости движения по сформированной траектории) и частоты вращения шпинделя выполняется технологом на основе использования нормативных данных, собственного опыта или рекомендаций изготовителей инструментальных материалов. В то же время теоретически разработаны методы оптимизации процесса резания, которые базируются на решении задач нелинейного программирования [1, 4]. Большинство деталей токарной обработки составляют ступенчатые валы, а в многономерном производстве с применением станков с ЧПУ они изготавливаются из заготовок в виде прутков. Поэтому такие токарные операции априори предполагают многопроходную обработку. Однако для многопроходной обработки остается не решенным вопрос оптимального выбора режима резания, определения оптимальных значений всех его компонентов: глубины, скорости и подачи.

**Постановка задачи.** Учитывая реальные возможности по управлению всеми компонентами режима резания современных станков, САМ-система должна быть способной к полному использованию таких возможностей. Это означает, что в нее обязательно должен входить модуль, позволяющий в автоматическом режиме проектировать как траектории движений инструмента на черновых операциях, по оптимальной глубине резания, так и рассчитывать программу управления такими компонентами режима резания как подача и частота вращения шпинделя. Причем, оптимальная глубина резания в сочетании с частотой вращения и подачей должны определяться из решения задачи оптимизации, которая в случае токарной обработки на станке с ЧПУ сводится к однокритериальной: найти такое сочетание компонент режима резания, чтобы критерий оптимальности – производительность – был максимальным при условии выполнения всех ограничений. Поскольку оптимальное управление проектируется на этапе технологической подготовки производства, то исходные данные для решения задачи оптимизации должны получаться из априорной информации. Другим важным условием является то, что в процессе обработки ступенчатых валов изменяются такие параметры как диаметр обработки и фактическая глубина резания, что предопределяет необходимость перманентного расчета оптимального режима обработки [3].

**Решение проблемы.** Поскольку реализация запланированных теоретических решений на станках с ЧПУ невозможна без применения САМ-систем, принятая концепция создания управляющей программы, ориентированная на применение компьютера. Структура САМ-системы должна предусматривать моделирование процесса обработки, который спроектирован по имеющимся априорным данным и на базе решения задачи расчета траекторий многопроходной обработки. Далее выполняется моделирование процесса точения, во время которого, на каждом его шаге, рассчитываются фактические величины диаметра и глубины резания, которые являются исходными для решения задачи оптимизации и определения оптимальных значений частоты вращения шпинделя и подачи.

Следовательно, для решения общей проблемы оптимального управления вначале необходимо установить оптимальную глубину резания на черновых проходах. Для решения такой задачи был разработан алгоритм, который основан на использовании алгоритма решения задачи оптимизации и соответствующей прикладной программы, представленных в [2].

Поскольку при токарной обработке ступенчатых валов наиболее часто применяются схемы точения с использованием инструментальных пластин с главным углом в плане  $\varphi > 90^\circ$  (рис.1), часть алгоритма, выполняющая расчет допустимой по шероховатости подачи была изменена. По условиям формообразования:

$$S_{ob} \leq r(1 + \sin\varphi_1 + 1/\sin\varphi_1),$$

поэтому гребешок  $Rz$  микронеровностей может образовываться только пересечением дуги окружности радиусом  $r$  и линией вспомогательной режущей кромки. Процедура вычисления рассчитывает высоту у профиля гребешка для каждой координаты  $x$  с определенным шагом в диапазоне от 0 до  $x=S_{ob}$  и выбирает максимальную величину. Процедура повторяется с выбранным шагом увеличения подачи  $S_{ob}$  до тех пор, пока  $y_{max}=Rz$ . Величина подачи, соответствующая этому условию и будет допустимой по шероховатости.

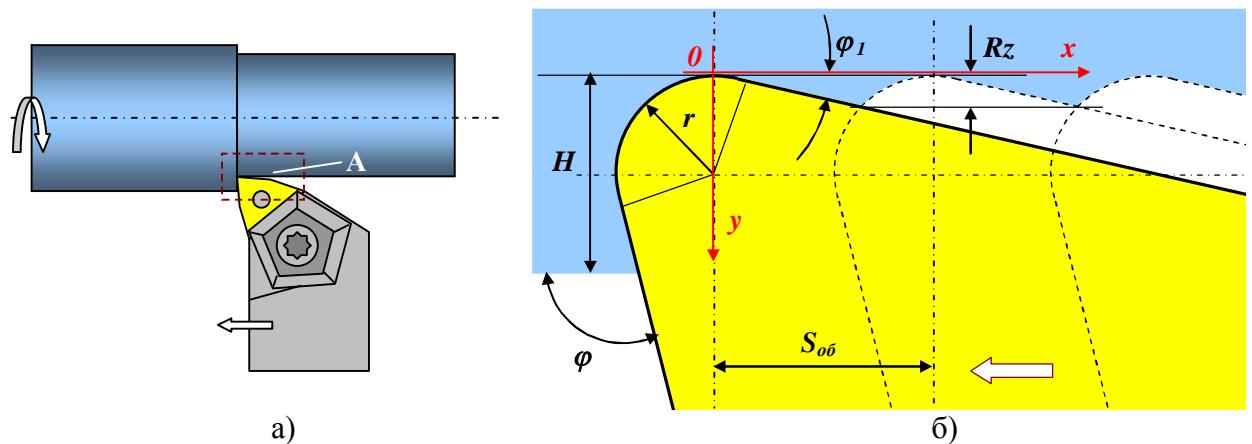


Рис.1. Схема обработки (а) и образование шероховатости поверхности (б)

Оптимальной глубиной резания на черновых проходах следует считать такую глубину, при которой, с оптимальными частотой вращения шпинделя и продольной подачей, производительность, оцениваемая по скорости срезания припуска, будет максимальной. При выполнении таких исследований было установлено, что всегда имеется определенное сочетание глубины резания подачи и частоты вращения, полученное из решения задачи оптимизации, которое обеспечивает максимум принятого критерия.

В таблице 1 представлены результаты исследований по определению оптимального режима резания на черновых проходах при обработке материала Сталь 30 инструментом T5K10 с радиусом при вершине  $r=0,2\text{мм}$  и углами в плане  $\varphi=95^\circ$ ,  $\varphi_1=5^\circ$  на токарном станке 1К62Ф2. Другие дополнительные условия: стойкость инструмента 20 мин, диаметр обработки 50мм, шероховатость после черновой обработки  $Rz=20\text{мкм}$ .

Таблица 1. Зависимость оптимального режима от глубины резания

№	$H, \text{мм}$	$S_o, \text{мм/об}$	$n, \text{об/мин}$	$S_m, \text{мм/мин}$	$S_m \cdot H, \text{мм}^2/\text{мин}$
1	2	3	4	5	6
1	0,5	0,656	1600	1050	525
2	1,0	0,656	1472	969	969
3	1,5	0,656	1048	687	1031
4	2,0	0,656	800	525	1050

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
5	2,5	0,656	648	425	1063
6	3,0	0,546	624	341	1023
7	3,5	0,450	624	281	983
8	4,0	0,380	624	237	948
9	4,5	0,327	624	204	918
10	5,0	0,287	624	179	895
11	5,5	0,254	624	159	875
12	6,0	0,226	624	143	858

Результаты исследований в графической форме представлены на рис.2. Видно, что гипотеза о наличии экстремума режима резания при черновой обработке от заданной глубины резания полностью подтвердилась. Для условий эксперимента режим резания  $H=2,5\text{мм}$ ,  $S_m=425 \text{мм/мин}$  и  $n=648 \text{об/мин}$  обеспечивает максимальную скорость снятия припуска, объем которого при постоянном диаметре оценивается по площади поперечного сечения срезаемого слоя. Следовательно, такой режим является оптимальным для черновой обработки.

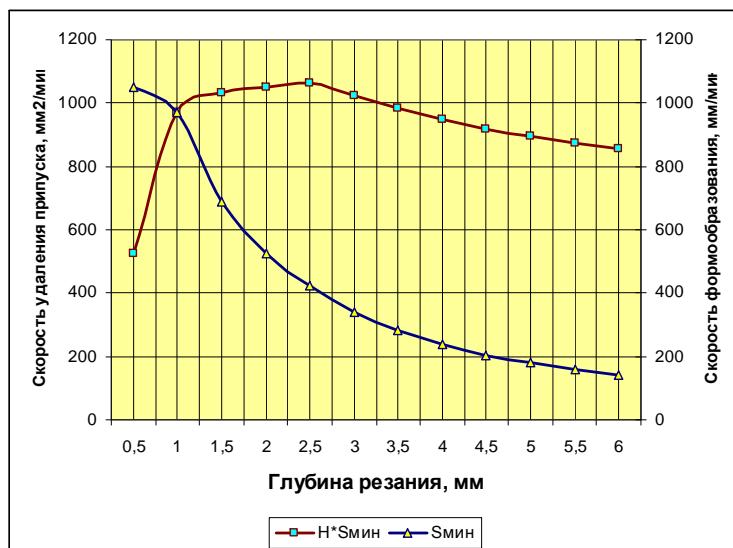


Рис.2. Графики зависимости критерия оптимальности от глубины резания для черновой и чистовой обработки

Оптимальный режим резания для чистовой обработки оценивается по скорости формообразования, т.е. по величине  $S_m$  минутной подачи и зависит от припуска.

В соответствии с принятой концепцией, модуль оптимизации САМ-системы токарной обработки ступенчатых валов построен по алгоритму, укрупненная блок-схема которого представлена на рис.3.

Модуль оптимизации предусматривает предварительный расчет по встроенной процедуре определения оптимального режима резания на черновых проходах в зависимости от введенных исходных данных. Процедура в автоматическом цикле находит максимум целевой функции  $S_m \cdot H$  и определяет, таким образом, глубину резания. Далее, вычисляется необходимое количество проходов и выполняется формирование траекторий движения инструмента как эквидистант к контуру детали.

Для этого используется специальная процедура, предусматривающая построение технологической эквидистанты, с достраиванием траектории движения на углах контура по дуге окружности.

Поскольку на первом проходе и далее в некоторых местах обработки, глубина резания может отличаться от расчетной, при моделировании процесса обработки предусмотрено постоянное обращение к процедуре оптимизации, которая вычисляет оптимальный режим резания для фактической глубины резания. Все расчетные данные (координаты траектории, частота вращения шпинделя и продольная подача) используются для формирования управляющей программы в G-кодах.

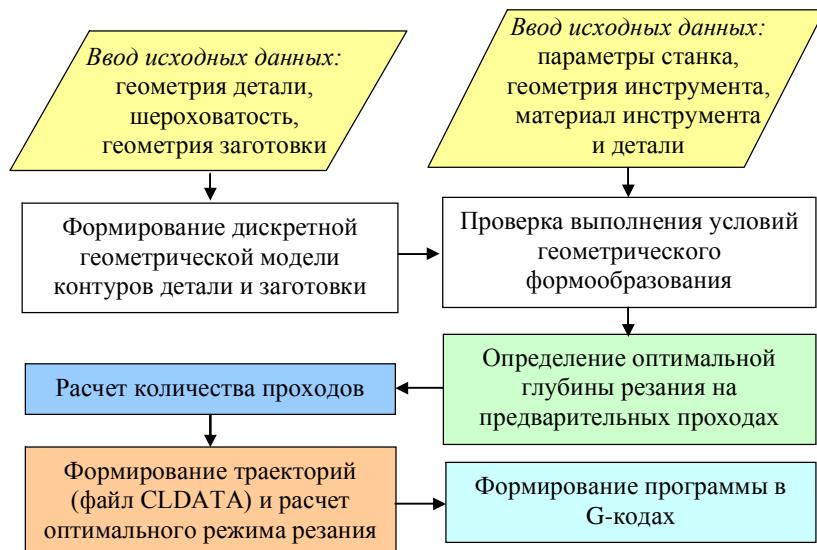


Рис.3. Блок-схема алгоритма модуля оптимизации

Поскольку модуль рассчитан и на автономное использование при технологической подготовке программ для токарных станков с ЧПУ, в него включен интерфейс, выполняющий функции CAD-системы (рис.4).

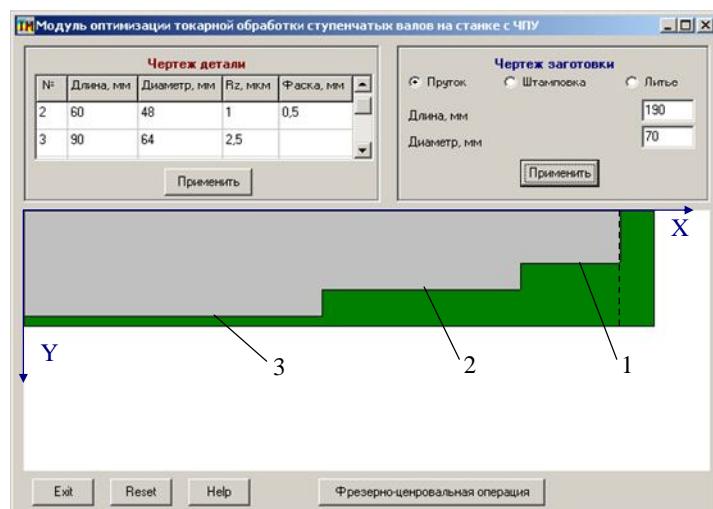


Рис.4. Графический интерфейс модуля оптимизации

В левом углу задаются геометрические параметры детали, справа выбирается вид заготовки и вводятся ее геометрические размеры. После нажатия кнопок

«Применить», изображения контура детали и заготовки появляются в графическом окне, там же обозначены номера участков детали.

Следует отметить, что для использования в дальнейших расчетах универсальных процедур, контуры детали и заготовки представляются дискретными геометрическими моделями в виде цифровых массивов.

При нажатии кнопки «Фрезерно-центровальная операция» выполняется соответствующая перестройка массива контура заготовки показано пунктирной линией на рис.4.

Следующий интерфейс (рис.5) позволяет ввести исходные данные, необходимые для функционирования дальнейших процедур модуля в соответствии с алгоритмом (смотри рис.3). В имеющейся базе данных содержится 10 видов обрабатываемых материалов и 6 марок инструментальных материалов. При необходимости, база данных может быть расширена. Обращаем внимание, что при задании технологических параметров обработки не требуется вводить глубину резания, подачу и частоту вращения шпинделя, поскольку они будут определяться автоматически в ходе решения задач оптимизации.

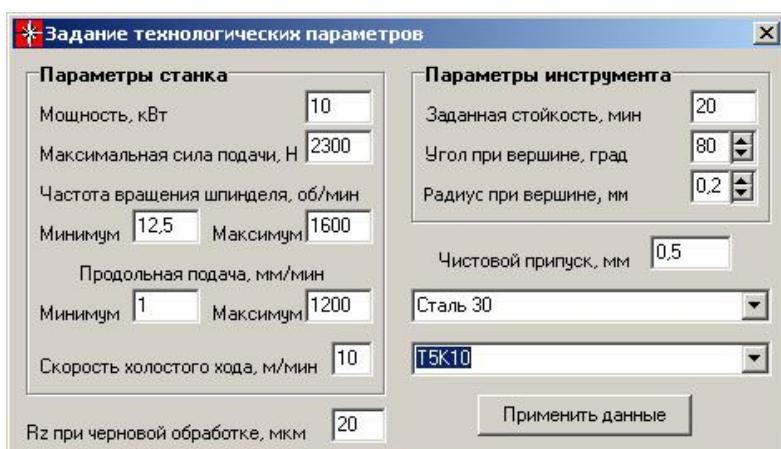


Рис.5. Интерфейс ввода технологических параметров

При нажатии кнопки «Применить данные» появляется графическое окно анимации процесса обработки. На рис.6 показано такое окно в исходном положении для условий рассматриваемого примера.

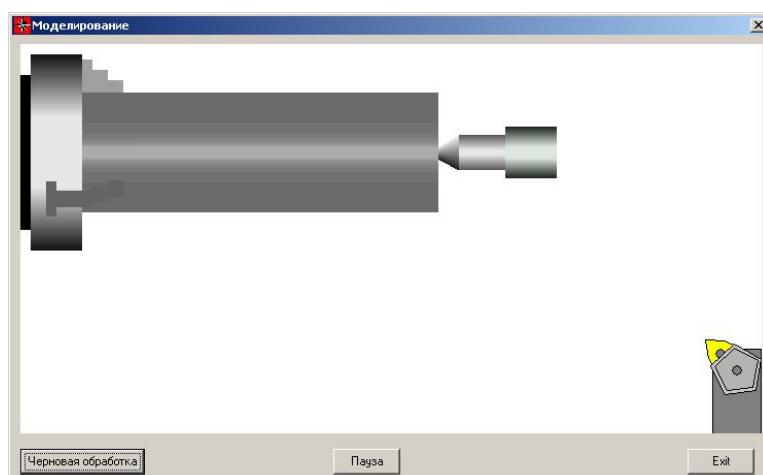


Рис.6. Состояние графического окна в начале процесса моделирования

При нажатии кнопки «Черновая обработка» выполняется моделирование процесса точения, результаты которого в определенном масштабе выводятся в окно анимации. Моделирование выполняется с заданным шагом (0,1мм), предусматривает вычисление фактической глубины резания и обращение к процедурам определения оптимизации значений подачи и частоты вращения шпинделя на каждом шаге. Вычисление фактической глубины резания производится специальной процедурой сравнения цифровых массивов текущей траектории движения резца и контура заготовки, сформированного на предыдущем проходе. Резец выполняет движение по траекториям, сформированным на предыдущих этапах работы модуля.

Таким образом, во время моделирования создаются массивы данных, представляющие траектории движения инструмента (координаты  $X$  и  $Y$ ), а также привязанные к ним значения подачи и частоты вращения шпинделя.

В конце моделирования деталь 1 приобретает заданную вначале проектирования форму, резец 2 занимает исходное положение а в графическом окне появляются рассчитанные траектории движения на черновой обработке (линии 3) и на чистовой обработке (линия 4). Там же афишируется расчетное время обработки на этих переходах или операциях.

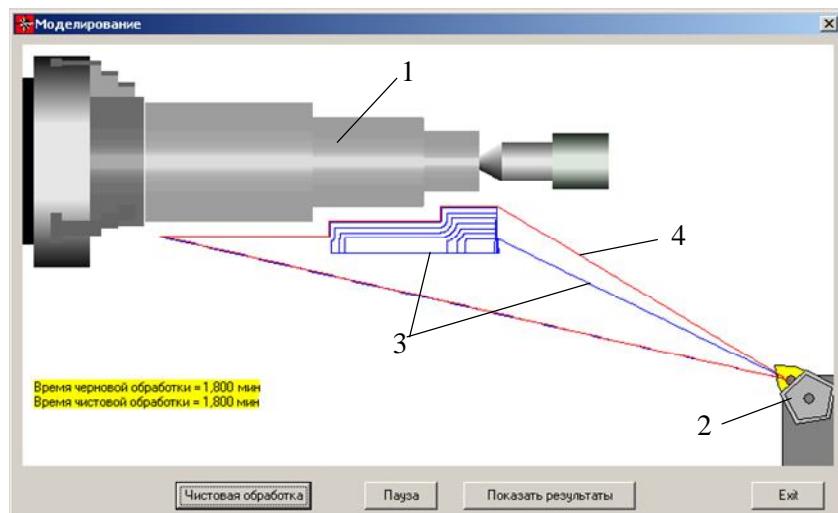


Рис.6. Состояние графического окна в начале процесса моделирования

Для визуальной проверки результатов моделирования и генерирования управляющей программы в G-кодах используется следующий интерфейс модуля оптимизации.

В графическом окне интерфейса (рис.7) можно представлять графики управления подачей и частотой вращения шпинделя как на черновых так и на чистовом проходах. Причем в зависимости от номера прохода, который выбирается в окне «номер прохода», можно наблюдать управляющие воздействия на любом проходе процесса обработки.

В качестве графического окна представления использован компонент Chart (Среда программирования Delphi), что позволяет проводить увеличение масштаба любого участка графиков и, таким образом, оценивать значения управляющих воздействий.

На рис.7 линией 1 обозначен закон управления подачей, а линией 2 – частотой вращения шпинделя. Оба закона привязаны к длине траектории и поэтому, в сочетании с цифровыми массивами координат, являются исходной базой данных для генерирования управляющей программы.

Уменьшение подачи в зонах *А* и *Б* объясняется особенностями обработки торцевых участков контура детали, где глубина резания значительно возрастает из-за смены направления подачи и геометрии главного угла в плане резца. На такие возмущения программа успешно среагировала, выбрав (согласно алгоритму) соответствующие изменения управляющих воздействий.

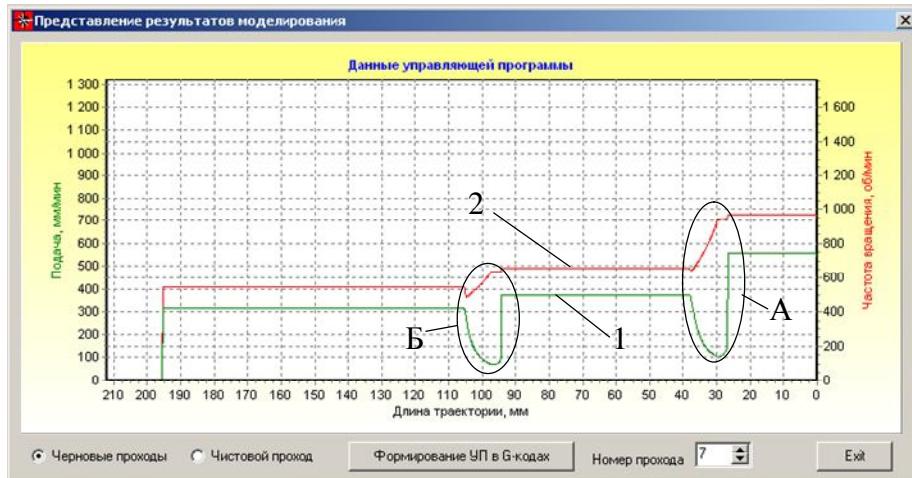


Рис.7. Интерфейс представления графиков управлений (7-ой черновой проход)

Законы управления на чистовом проходе также представлены в функции координаты длины траектории инструмента (рис.8). Постоянство частоты вращения на всех участках контура детали (линия 1) обусловлено конструктивными ограничениями выбранного станка (смотри рис.5), а изменение подачи – разными требованиями по шероховатости обработки, назначенными при проектировании чертежа детали (смотри рис.4).

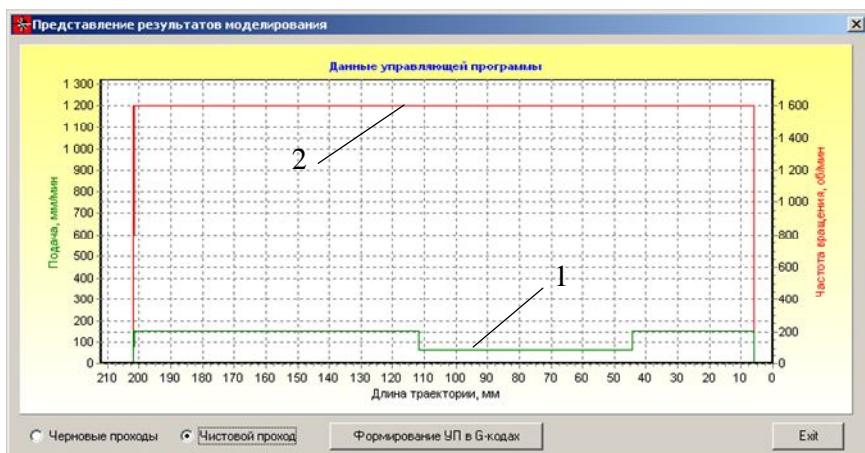


Рис.8. Интерфейс представления графиков управлений на чистовом проходе

В заключение следует отметить, что аналогичным образом решается задача проектирования оптимального управления и при выборе заготовки в виде штамповки или литья (смотри рис.4). При этом в исходных данных назначается литейные (штамповочные) уклоны и величина припуска. Припуск по умолчанию принимается эквидистантный, а формирование его цифрового массива, представляющего дискретную геометрическую модель, выполняется процедурой расчета эквидистанты, которая используется и для определения траекторий на черновой обработке.

## **Выводы.**

1. Впервые доказано, что производительность черновой обработки зависит от глубины резания, причем зависимость носит экстремальный характер. Предложен алгоритм автоматического поиска экстремума по глубине резания и формирования траекторий движения резца на черновых проходах.
2. Впервые разработан модуль САМ-системы управления токарной обработкой ступенчатых валов, не требующий от технолога задания параметров режима резания и выбора траекторий движения.
3. Разработанный модуль в автоматическом режиме определяет частоту вращения шпинделя и продольную подачу, которые обеспечивают минимально возможное время обработки и генерирует управляющую программу для станка с ЧПУ.
4. Рассчитывая управляющую программу согласно принятой концепции, разработанный модуль автоматически обеспечивает работу станка на максимально допустимых режимах и, тем самым, обеспечивает стабилизацию условий обработки на черновых проходах, решая одновременно две важнейшие задачи управления: стабилизация и оптимизация.

**Список литературы:** 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с. 2. Петраков Ю.В., Амин Афшар Камбиз Оптимизация токарной обработки. Сб. Вестник Национального технического университета Украины «КПИ», №52, 2008. 3. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. – УкрДНІАТ, Київ, 2004.-383с. 4. Ящерицын П.И., Фельдштейн Э.Э., Корниевич М.А. Теория резания: учеб. Минск: Новое знание, 2005.-512с.

Сдано в редакцию 13.03.08

## **ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ОПОР ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ МЕХАНОУЛЬТРАЗВУКОВИМ ЗМІЦНЕННЯМ**

**Петріна Ю.Д., Яким Р.С. (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, Україна)**

*It's determined that the present technological process of the chemical and heat treatment with the races final treatment by grinding doesn't provide the favorable technological inheritance for the effective work and durability of the rock bits bearings. The use of mechanical-ultrasonic strengthening instead of grinding gives an opportunity to increase not only the treatment stability, but also to provide uniform distribution of the working surfaces microhardness.*

Однією з сучасних актуальних проблем в підвищенні довговічності бурових шарошкових доліт є розробка методів зміцнення опори. В розв'язання цієї проблеми внесено суттєвий вклад [1]. Найбільш актуальним напрямком підвищення довговічності опор бурових доліт є використання хіміко-термічної обробки (цементації) [2]. При цьому, технологічні методи зміцнюючих і викінчувально-zmіцнюючих обробок опори є найбільш ефективним шляхом вирішення задачі забезпечення заданих експлуатаційних показників. Серед таких перспективних методів є поверхнева пластична деформація за допомогою механоультразвукової обробки.

У результаті механоультразвукової обробки в поверхневих шарах оброблених деталей утворюється більш однорідний розподіл мікротвердості по глибині зміцнення у порівнянні з точінням [3], що позитивно впливає на їх зносостійкість.