

УДК 621.941

С. М. Поляков, Е. А. Куимов

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

При обработке детали на металлорежущем станке требуется получить поверхность определенной формы с максимально возможными параметрами точности и качества, на которые влияет целый комплекс показателей системы обработки от схемы резания и жесткости системы станок – приспособление – инструмент - деталь до конкретных режимов обработки. При этом одним из важных показателей, влияющих на точность полученной формы детали, является степень соответствия формы заготовки готовой детали. Наиболее простым способом оценки этого влияния может служить исследование влияния режимов резания на наследственность некруглости формы заготовки путем определения частотных характеристик технологической системы на примере токарной обработки. Технологическая наследственность в конечном счете зависит от динамических параметров упругой технологической системы, а значит от режимов резания, которые и определяют частоту изменения возмущений в виде припуска.

*Ключевые слова:* технологическая наследственность, технологическая система, режимы резания, частотная характеристика, формообразование резанием.

Основное назначение металлорежущего станка – обработка изделий с заданной точностью и качеством поверхности. Однако эти показатели, по разработанным методикам оценки качества металлорежущих станков, не представляются в виде выходных параметров процесса обработки, которые зависят не только от станка, а от всей технологической обрабатывающей системы, в которую входят инструмент, заготовка, приспособление, а также и от режима резания.

Поскольку скорость изменения припуска и соответственно силы резания, например, при обработке точением некруглых в поперечном сечении поверхностей зависит от скорости резания (частоты вращения заготовки), следует ожидать существенного влияния режима резания на технологическую наследственность формы детали в поперечном сечении. Для исследования такого влияния необходимо использовать частотные характеристики технологической системы при резании [1–4].

В первом приближении технологическая система токарного станка может быть представлена в виде одномассовой системы по координатам  $Y$  и  $Z$ , деформации в направлении которых наиболее сильно влияют на точность формообразования.

Деформация упругой системы по координате  $Y$  оказывает непосредственное влияние на фактическую глубину резания, а влияние деформации  $\delta_z$  по координате  $Z$  (рисунок 1) может быть определено по зависимости.

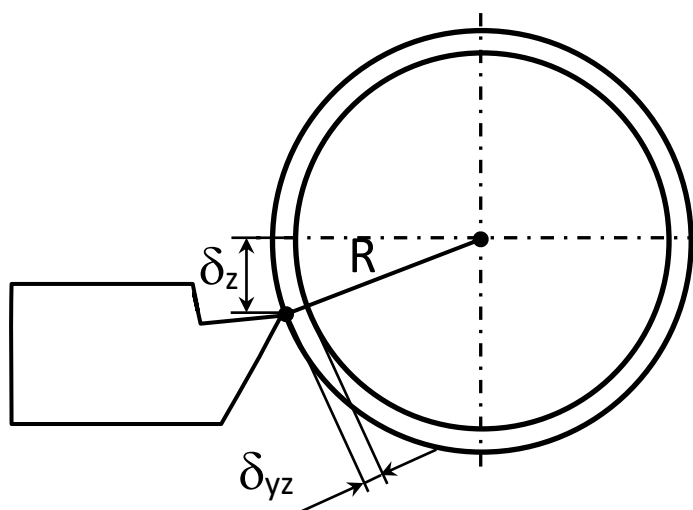


Рис. 1. Схема определения деформации по координате  $Z$

$$\delta_{yz} = \sqrt{R^2 + \delta_z^2} - R. \quad (1)$$

Математическая модель процесса резания строится с учётом замкнутости упругой технологической системы.

Поскольку технологическая наследственность, которая определяет точность формы детали, зависит не только от режима резания, частотных характеристик станка, а и от частотных характеристик всей технологической системы, которые изменяются в зависимости от координаты  $x$  формообразующего движения по длине заготовки, её прогнозирование должно предусматривать определение соответствующего семейства частотных характеристик, построенных в функции этой координаты.

Подавляющее большинство видов токарной обработки сопровождается силовым возмущением от переменного припуска. Наиболее часто встречается случай эксцентричного расположения припуска вследствие несовпадения оси вращения шпинделя станка и оси цилиндрической заготовки (рисунок 2). Такое несовпадение определяется эксцентриситетом  $e = OO_1$ .

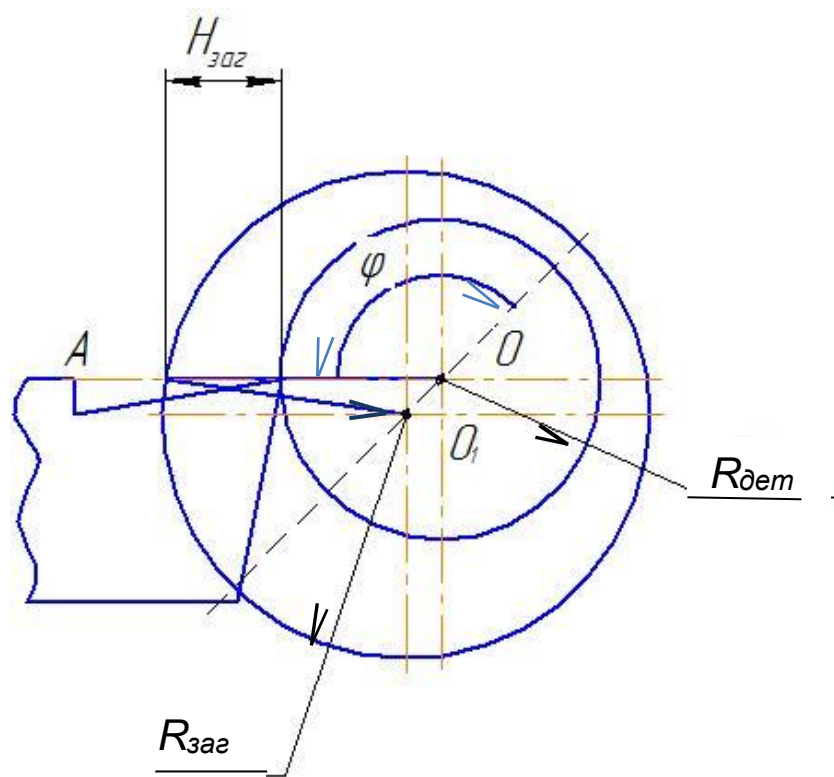


Рис. 2. Схема определения глубины резания

Величина заданного припуска (заданной глубины резания), как функция полярного угла  $\varphi$  определяется из треугольника  $OO_1A$ . По теореме косинусов имеем:

$$O_1A^2 = OA^2 + OO_1^2 - 2 \cdot OA \cdot OO_1 \cdot \cos(\pi - \varphi). \quad (2)$$

Поскольку  $H_{заг} = O_1A - R_{дет}$ , а  $O_1A = R_{заг}$ , где  $R_{заг}$ ,  $R_{дет}$  – радиусы заготовки и детали соответственно, окончательно получаем:

$$H_{заг}(\varphi) = \sqrt{R_{заг}^2 - e^2 \sin^2(\varphi)} - R_{дет} - e \cos(\varphi). \quad (3)$$

Для прогнозирования технологической наследственности предлагается прикладная программа [5-6], которая учитывает все отмеченные прежде закономерности образования погрешности формы при токарной обработке. Главный интерфейс такой программы представлен на рисунке 3.

Программа моделирует обработку детали, которая установлена в патроне или в патроне и заднем центре и имеет определённую форму заготовки, которая отличается от цилиндра. На рисунке 3 показано моделирование обработки заготовки с эксцентриситетом 1 мм, диаметр детали 18 мм, диаметр заготовки 22 мм, длина 180 мм. Другие исходные данные, которые характеризуют технологическую систему и процесс резания, представлены на интерфейсе.

Динамическая система представлена в виде одномассовой с приведённой к резцу массой и демпфированием, которое определяется коэффициентом вязкого трения.

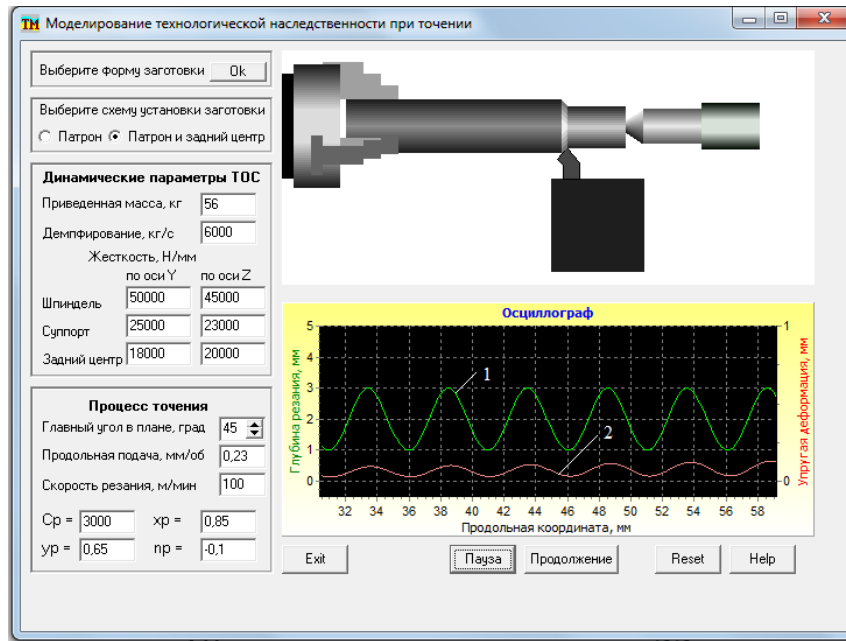
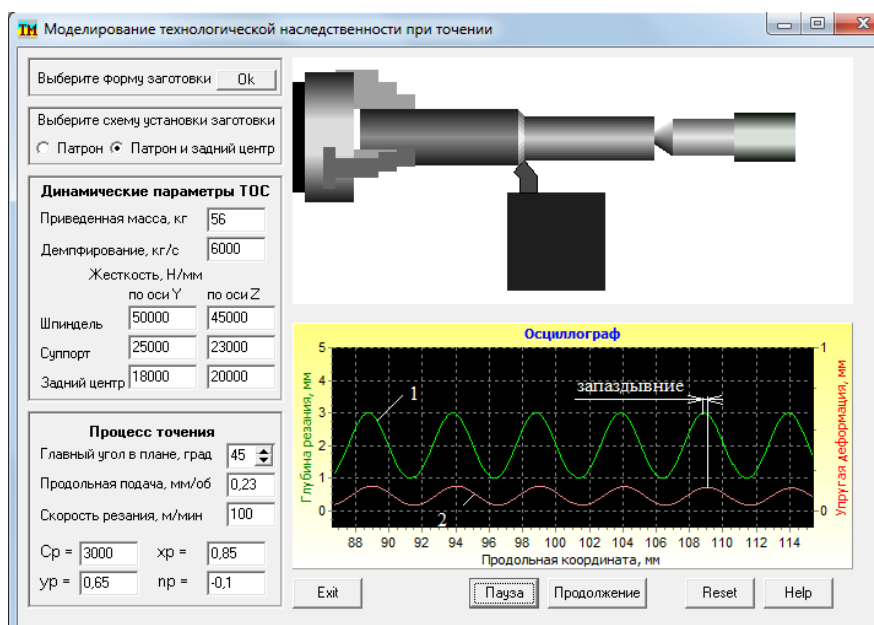


Рис. 3. Главный интерфейс программы моделирования технологической наследственности при точении

На изображении осциллографа рисунке 3 линией 1 обозначено изменение заданной глубины резания, а линией 2 – упругой деформации технологической системы в начале процесса обработки. Такие же обозначения приняты и на рисунке 4, где зафиксировано состояние системы при обработке детали в середине и возле шпинделя.



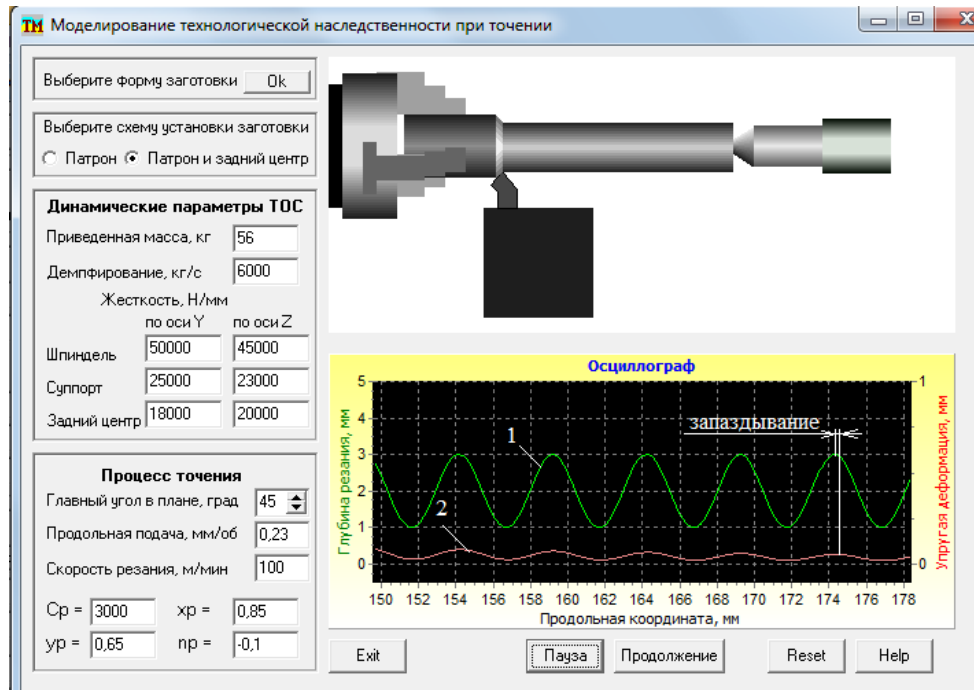


Рис. 4. Состояние технологической системы при моделировании продольного точения

Моделирование происходит в течение определенного времени, но осциллограммы выводятся на экран осциллографа в функции продольной координаты, так как именно по этой координате происходит изменение динамических параметров системы и строится поверхность виртуально обработанной детали.

Как видно из рисунков 3 и 4 упругая деформация технологической системы, которая, в конце концов, будет определять форму обработанной детали, изменяется как по амплитуде, так и по фазе. Фазовый сдвиг можно оценить по запаздыванию между максимальной величиной глубины резания и максимальной величиной упругой деформации. Запаздывание определяется по величине продольной координаты. Анализ показывает, что наихудшие динамические параметры технологической системы наблюдаются примерно в середине детали, поскольку именно в этом месте жёсткость технологической системы оказалась минимальной.

В результате моделирования получается поверхность виртуальной детали, круглограммы которой можно увидеть по всем сечениям с определённым шагом

(5 мм) по продольной координате на дополнительных интерфейсах прикладной программы (рисунок 5). Масштаб изображения погрешности формы обработки, которая определяется технологической наследственностью, увеличен в 200 раз в сравнении с изображением линейных размеров детали.

На рисунке 5 линией 1 показано поперечное сечение заготовки (с эксцентриситетом), линией 2 – поперечное сечение идеальной детали, а линиями 3 – поперечные сечения по продольной координате с шагом 5 мм. Как видим, форма детали существенно отличается от бочкообразной, которая принимается по традиционным представлениям о процессе точения при закреплении недостаточно жёсткой заготовки в патроне и заднем центре. Это поясняется именно влиянием переменных параметров динамической упругой системы на процесс наследования формы заготовки. Максимальное отклонение от цилиндричности (+0,2454 мм) не соответствует максимальной величине глубины резания, которая определяется формой заготовки (линия 2), а имеет сдвиг по фазе  $\varphi = -105^\circ$ , который отсчитывается против стрелки, показывающей на рисунке 22 направление вращения заготовки во время точения. Минимальное отклонение от округлости имеет отрицательный знак (-0,0818 мм), то есть в этом месте размер меньше, чем радиус идеальной детали.

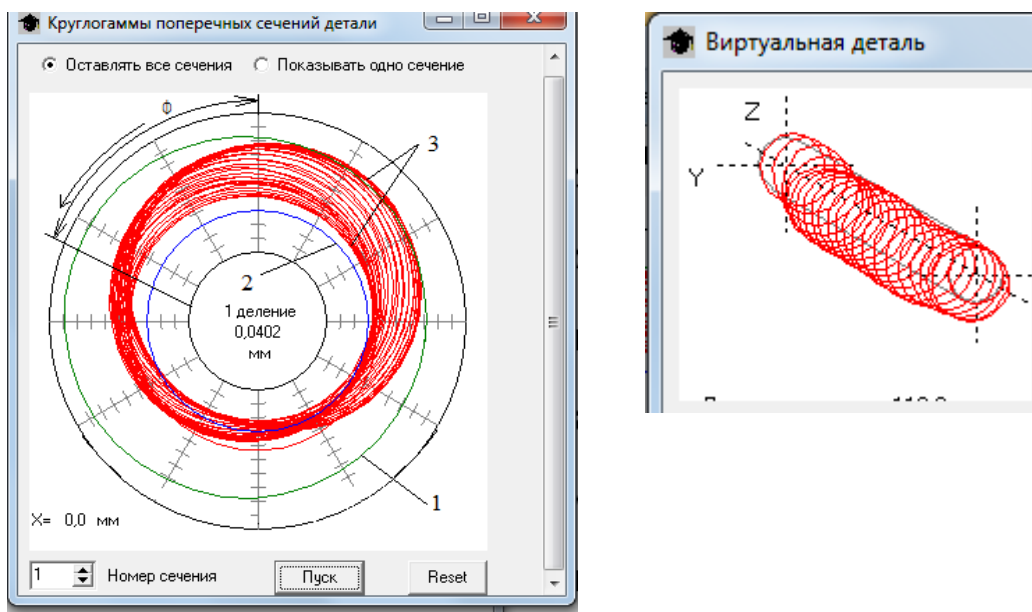


Рис. 5. Результаты моделирования при скорости резания 180 м/мин

Таким образом, технологическая наследственность, которая будет определять форму обработанной детали, зависит от динамических параметров упругой технологической системы, её частотных характеристик, а значит – от режимов резания, которые определяют частоту изменения возмущений в виде припуска. Приведенные методики исследования, программное обеспечение и анализ результатов экспериментов выполняют магистранты направлений подготовки «Машиностроение» и «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительного производства» в рамках лабораторных работ и выпускных магистерских диссертаций.

### Список литературы

1. *Базров Б. М.* Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. М. : Машиностроение, 1978. 216 с.
2. Автоматическое управление процессами резания : учеб. пособие / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. Старый Оскол : ТНТ, 2012. 408 с.
3. Исследование динамических качеств технологической системы по переходным процессам / Е. А. Куимов, С. М. Поляков // ОБЩЕСТВО, НАУКА, ИННОВАЦИИ (НПК-2017) : сб. материалов всерос. ежегод. науч.-практ. конф. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2017. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
4. Моделирование переходных процессов при точении / Е. А. Куимов, С. М. Поляков // ОБЩЕСТВО, НАУКА, ИННОВАЦИИ (НПК-2017) : сб. материалов всерос. ежегод. науч.-практ. конф. / Вят. гос. ун-т. Киров, 2017. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. *Петраков Ю. В., Драчев О. И.* Автоматическое управление процессами резания : учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. Старый Оскол : ТНТ, 2011. 407 с. : ил. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Библиогр.: С. 407.
6. *Петраков Ю. В.* Моделирование процессов резания : учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед., обучающихся по направлению подготовки 150400 «Технологические машины и оборудование» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. Старый Оскол : ТНТ, 2011. 239 с. : ил + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). Библиогр.: С. 239.



**ПОЛЯКОВ Сергей Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: polyakov@vyaysu.ru

**КУИМОВ Евгений Александрович** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: kuimov@vyatsu.ru