

# Пути повышения эффективности использования станков с ЧПУ в обрабатывающем производстве

**В. В. Савицкий**

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

E-mail: savizkivv@mail.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ причин уменьшения производительности современных станков с ЧПУ по сравнению с их техническими возможностями, заложенными производителями оборудования. Предложены пути повышения эффективности использования оборудования с ЧПУ при выпуске продукции машиностроительного назначения.

**Ключевые слова:** станок с ЧПУ, эффективность, управляющая программа, автоматизация программирования, G-код, геометрическая модель детали, атрибут, САМ система.

## Ways to Increase the Efficiency of Using CNC Machines in Manufacturing

**V. Savitsky**

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

E-mail: savizkivv@mail.ru

**Annotation.** The analysis of the reasons for the decrease in productivity of modern CNC machines in comparison with their technical capabilities provided by equipment manufacturers was carried out. The ways of increasing the efficiency of using CNC equipment in the production of machine-building products are proposed.

**Key words:** CNC machine, efficiency, control program, programming automation, G-code, geometric model of the part, attribute, CAM system.

### ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация машиностроения служит основой для ускоренного развития всего народного хозяйства. Повышение эффективности производства обеспечивается за счёт использования современных технологий, которые реализуются с помощью высокопроизводительного оборудования.

Эффективность применения обрабатывающего оборудования с ЧПУ доказана опытом промышленно-развитых стран. Преимущества такого оборудования заключаются в возможности концентрации операций за счёт широких технологических возможностей, заложенных в станки их производителями. На предприятиях различных отраслей промышленности республики в последнее время начали широко использовать обрабатывающее оборудование с ЧПУ. Однако эффективность его применения проявляется лишь при условии, когда максимум времени станок выполняет обработку, а доля непроизводительных затрат (вспомогательного времени) минимальна.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На данный момент на большинстве машиностро-

ительных предприятий республики возможности оборудования используются крайне неэффективно, что связано с простоями станков с ЧПУ во время программирования обработки заготовок, которую выполняют непосредственно на панелях устройств ЧПУ (УЧПУ) станков.

Создание управляющих программ практически на всех предприятиях производят по одному из следующих вариантов. В первом варианте оператор использует рабочий чертёж обрабатываемой детали и непосредственно с панели УЧПУ вводит в оперативную память станка с ЧПУ управляющую программу в виде кадров, в которых записаны G-коды, подготовительные и вспомогательные функции, а также размерные перемещения.

При втором варианте в соответствии с рабочим чертежом детали выполняют аналогичное программирование обработки в G-кодах, которые операторы или наладчики станка с ЧПУ записывают на компьютере в любом текстовом редакторе, например, «Блокноте» (Windows), в соответствии с последовательностью обработки геометрических элементов детали по координатам характерных точек таких

элементов, называемых опорными. Затем разработанную программу переносят на внешний носитель информации и выполняют последующую перезапись в память УЧПУ станка.

В третьем варианте для создания управляющей программы используют рабочий чертёж, G-коды и различные станочные циклы, заложенные в виде программного обеспечения в память УЧПУ станка, которые облегчают программирование обработки в интерактивном режиме [1]. Такой вариант обеспечивает некоторую автоматизацию разработки управляющей программы, однако информацию об обрабатываемых геометрических элементах, геометрии инструментов, параметрах обработки и другие данные вводят в ручном режиме, что требует немалых затрат времени. Кроме этого, необходимо учитывать вероятность появления ошибок ввода, особенно если параметры обработки имеют нецелочисленные значения.

Автор работы [2] считает неоспоримым преимуществом программирования в G-коде в дополнение к специальным станочным циклам возможность детального описания каждого хода инструмента так, как это предполагает программист, что зачастую невозможно при диалоговом программировании и программировании в САМ системе.

С таким утверждением трудно согласиться, поскольку с помощью G-кодов программируются лишь простые виды обработки. А предположение о необходимости детального описания каждого хода инструмента недостаточно обоснованно, так как задача программиста заключается не просто в составлении программы, а в разработке такой последовательности, которая обеспечит либо высокую производительность обработки, либо требуемое качество и размерную точность изготовления обрабатываемых геометрических элементов. Пытаться вручную создавать оптимальные стратегии обработки весьма непростая задача, решаемая в современных условиях средствами так называемых САМ систем, в которых задачи расчёта траекторий движения инструментов решаются алгоритмами, обеспечивающими оптимизацию процесса обработки как раз с учётом выполнения требований к результатам обработки.

Кроме этого, для указанных выше, фактически ручных способов программирования недоступны современные стратегии обработки от ведущих производителей станков, режущих инструментов и разработчиков программного обеспечения САМ систем. К этим способам относят, например, точение во всех направлениях, адаптивную фрезерную обработку, фрезерование с высокими подачами и другие, в которых для осуществления перечисленных стратегий используют сложные траектории движения инструмента с расчётом положения инструмента в пространстве с точностью до тысячных долей мм.

Перечисленные стратегии в сравнении с традиционными обеспечивают рост производительности

обработки на 50–80 %. Решение аналогичных задач с помощью ручного программирования практически невозможно, поскольку вручную программировать даже трёх координатную обработку затруднительно и затратно по времени, не говоря о программировании четырёх-пяти координатной обработки либо программировании обработки элементов деталей, имеющих сложную пространственную форму.

Кроме этого, до настоящего времени перечисленные выше способы программирования выполняют либо операторы, либо наладчики станков с ЧПУ, которым осуществляют доплату к основной заработной плате, в большинстве случаев в достаточно большом размере. Это подтверждают данные объявлений о вакансиях, в которых работодатели указывают о требованиях к кандидатам на должности операторов станков с ЧПУ и их навыках – знание программирования обработки на панели УЧПУ различных производителей станочного программного обеспечения [3]. Однако при такой организации труда оборудование во время программирования простаивает, что катастрофически снижает эффективность дорогостоящих станков. Необходимо также учитывать, что программирование обработки относится к инженерному труду и в большинстве случаев квалификации операторов станков недостаточно для эффективной реализации технологических возможностей оборудования, инструментов и доступных стратегий обработки.

Перечисленные подходы в промышленно-развитых странах признаны неэффективными, поскольку, во-первых, какие бы манипуляции не выполнялись на панели УЧПУ станка при программировании, симуляции или верификации обработки, внесении изменений в управляющую программу, станок в течение этого времени простаивает, что снижает эффективность его использования.

Во-вторых, программирование обработки в современных условиях является сложной задачей, решение которой должны выполнять технологи, но никак не операторы или наладчики станков с ЧПУ, пусть и имеющие навыки программирования.

В-третьих, при программировании обработки оператором или наладчиком станка сказывается субъективный характер исполнителя, который в большинстве случаев пытается найти выгоду для себя в части увеличения доли машинного времени, затрачиваемого на обработку. По этой причине очень часто в управляющую программу закладывают не оптимальные, а некоторые шадящие режимы обработки, чтобы увеличить продолжительность изготовления конкретной детали, поскольку оплата его труда от времени изготовления в большинстве случаев и зависит. Однако эффективность использования станка в этом случае значительно падает. Особенно ярко такая закономерность проявляется во время второй смены, когда операторы получают доступ к управляющим программам и выполняют их корректировку. Такое положение недопустимо.

В-четвёртых, перечисленные варианты программирования обеспечивают разработку управляющих программ обработки простых элементов деталей, при программировании даже трёх координатной обработки затраты времени существенно возрастают, а четырёх или пяти координатную обработку любым из перечисленных способов программировать невозможно.

На предприятиях республики пока крайне редко применяют ещё один вариант программирования обработки, который реализуется с помощью специализированного программного обеспечения – САМ систем, которыми оснащают удалённые рабочие места технологов-программистов, расположенные в технологическом подразделении предприятия.

В чём же особенности использования САМ системы? Основой для программирования обработки в САМ системе служит копия электронной геометрической модели детали (ЭГМД, 3D-модель, САД-модель), созданной конструктором, которая содержит всю информацию о будущей детали в виде геометрических элементов, чаще всего в твердотельном отображении, атрибутов и технических требований. Такое представление детали допускает действующий ГОСТ 2.052 [4].

САМ системы автоматизируют работу технологов-программистов и обеспечивают их инструментами, с помощью которых процесс разработки управляющей программы реализуется на использовании графической и текстовой информации, которая заложена конструктором в электронные геометрические модели деталей. Для программирования используется интерфейс САМ системы, который обеспечивает выделение геометрии, подлежащей обработке, в отличие от необходимости её задания с помощью координат опорных точек или размеров соответствующих геометрических элементов – при ручном программировании. Кроме этого, в САМ систему заложены различные стратегии обработки геометрических элементов детали, которые в зависимости от режимов обработки могут быть обработаны при максимальной производительности станка с минимальными затратами времени либо будет обеспечена минимальная шероховатость поверхности при высокой точности обработки.

Инструменты САМ систем обеспечивают также выбор режущих инструментов из имеющихся в библиотеке или создание новых с требуемой геометрией режущей части, обеспечивается выбор заготовок и учитывается изменение их формы после выполнения соответствующего этапа обработки, возможна визуализация обработки средствами твердотельной верификации, при которой отображается не только траектория движения инструмента, но и процесс съёма металла, возможно сравнение полученного после обработки результата с геометрией модели детали, автоматически генерируются траектории движения инструментов и вспомогательные перемещения

и т. д. Кроме этого, в текстовой части САМ системы отображается разработанная технология обработки заготовок с её детализацией до операционных переходов.

Такой вариант позволяет избавиться от необходимости разработки рабочих чертежей деталей и отказаться от их использования в работе не только конструкторских, но и технологических отделов или бюро, других подразделений предприятия и использовать ЭГМД в качестве основного конструкторско-технологического документа, на основе которого создаются другие документы, в том числе, управляющие программы обработки.

В этом варианте рутинная ручная работа по программированию обработки на панели УЧПУ с помощью станочных циклов или на персональном компьютере, стоящем рядом со станком, требующая затрат ручного труда, полностью исключается. Это увеличит долю основного времени в работе станка и повысит коэффициент загрузки оборудования.

Предложенный вариант должен стать основой для нового вида взаимоотношений на машиностроительных предприятиях – электронного документооборота между конструкторами, технологами и обрабатывающими, а также заготовительными подразделениями и основой таких взаимоотношений будет один источник информации – геометрическая модель детали. Возможности новой формы взаимодействия конструкторов и технологов в рамках предприятия и варианты совершенствования конструкторских и технологических документов на основе ЭГМД достаточно подробно описаны в работе [5].

Основным преимуществом этого подхода в переходе к цифровизации машиностроительного производства на первом этапе станет ускорение конструкторско-технологической подготовки, что в дальнейшем позволит углубить автоматизацию на производстве за счёт внедрения PDM/PLM системы.

Задачи, решаемые операторами или наладчиками станков с ЧПУ, должны быть направлены на подготовку станков к выполнению обработки в автоматическом режиме. В перечень обязанностей следует включить:

- подготовку приспособлений для установки обрабатываемых заготовок на станке в соответствии с картой наладки;
- выверку положения заготовок в рабочей зоне станка с привязкой нулевых точек управляющих программ к таблице нулевых точек УЧПУ станка;
- установку оправок или блоков с режущими инструментами в револьверные головки или инструментальные магазины;
- заполнение таблицы нулевых точек в УЧПУ станка, к каждой строке которой привязаны управляющие программы обработки конкретной детали;
- запись размеров режущих инструментов в соответствии с их настройкой в таблицу инструментов УЧПУ станка;

– подготовку измерительных средств для выполнения измерений между операционными переходами в соответствии с комментариями технолога-программиста в управляющих программах или маршрутных картах обработки;

– исполнение управляющих программ в соответствии с их последовательностью, прописанной технологом-программистом, с обязательной блокировкой рабочей зоны станка, так как отсутствие блокировки дверей кабинетной защиты зоны резания является причиной падения производительности обработки, выполняемой на станке с ЧПУ, из-за автоматического ограничения УЧПУ скорости ускоренных перемещений примерно в 2–2,5 раза относительно максимальных значений.

Немаловажным фактором, обеспечивающим рост эффективности использования оборудования с ЧПУ, должно стать внедрение систем мониторинга высокоточных станков с помощью системы датчиков, которые снимают показания с основных элементов станков с ЧПУ и универсального оборудования. Это позволит получить информацию о причинах падения производительности оборудования и оперативно принять меры по устранению выявленных недостатков.

Добиться такой организации труда, когда программирование выполняется инженером-технологом, обработку в автоматическом режиме выполняет станок, который контролирует оператор, можно с помощью внедрения в работу технологов САМ систем различного уровня. Причём вопрос стоимости специализированного программного обеспечения в виде САМ системы не может рассматриваться в отрыве от преимуществ её использования в технологической подготовке производства и оценки возможного повышения эффективности использования оборудования с ЧПУ за счёт нового уровня программирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В концентрированном виде пути повышения эффективности использования станков с ЧПУ можно выразить следующими направлениями, тесно взаимосвязанными друг с другом:

– перевод программирования в технологические подразделения предприятия и передача задач программирования технологом-программистам, что увеличит долю машинного времени работы станка, затрачиваемую на обработку;

– оснащение рабочих мест программистов-технологов САМ системой для автоматизации программирования, которая обеспечивает конвертацию файлов из САД системы без потери качества отображения геометрической и текстовой информации в виде атрибутов и технических требований;

– использование копий конструкторских геометрических моделей деталей в качестве основы для выполнения работ по программированию обработки на станках с ЧПУ и организации электронного документооборота в работе конструкторско-технологических подразделений и обрабатывающих цехов с последующей цифровизацией в масштабе предприятия;

– использование эффективных стратегий обработки, которые реализуются на станках с ЧПУ с помощью современного программного обеспечения (САМ систем), высокопроизводительных режущих инструментов и оптимальных режимов резания;

– использование верификации, реализуемой инструментами САМ системы, для проверки корректности исполнения разработанных программ с целью устранения возможных коллизий до передачи программ в обрабатывающие цеха;

– мониторинг работы оборудования в производстве для своевременного реагирования на возникающие проблемы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как писать программы для станков с ЧПУ. От теории к практике [Электронный ресурс] / Тверской станкостроительный завод – станки с ЧПУ // Дзен. – Режим доступа: <https://dzen.ru/video/watch/65659213c927455e033ddd77>. – Дата доступа: 23.12.2023.

2. Евстигнеев, А. Д. Повышение эффективности разработки управляющих программ путем совместного использования диалогового программирования с использованием g-кодов [Электронный ресурс] / А. Д. Евстигнеев // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов Международной научно-практической заочной конференции (посвящается 65-летию со дня основания машиностроительного факультета Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ/ULSTU)), Ульяновск, 30 ноября 2022 г. / УлГТУ ; отв. ред.: В. П. Табаков, Д. В. Кравченко. – Ульяновск : ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», 2022. – С. 304–309. – Режим доступа: <http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2022/100.pdf>. – Дата доступа: 25.12.2023.

3. Наладчик токарных станков с ЧПУ. Оператор ЧПУ. ОДО «ДИСКОМС» [Электронный ресурс] // Praca.by. – Режим доступа: <https://praca.by/vacancy/579371/>. – Дата доступа: 20.12.2023.

4. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения : ГОСТ 2.052-2021. – Взамен ГОСТ 2.052-2015 ; введ. 01.08.2021. – М. : Стандартинформ, 2022. – 16 с.

5. Савицкий, В. В. Использование 3D-моделей в автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства [Электронный ресурс] / В. В. Савицкий // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов Международной научно-практической заочной конференции (посвящается 65-летию со дня основания машиностроительного факультета Ульяновского государственного техни-

ческого университета (УлГТУ / ULSTU)), Ульяновск, 30 ноября 2022 г. / УлГТУ ; отв. ред.: В. П. Табаков, Д. В. Кравченко. – Ульяновск, 2022. – С. 296–303. – Режим доступа: <http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2022/100.pdf>. – Дата доступа: 25.12.2023.

## REFERENCES

1. How to write programs for CNC machines. From theory to practice [Electronic resource] / Tver Machine Tool Plant - CNC machines // Zen. – Mode of access: <https://dzen.ru/video/watch/65659213c927455e033ddd77>. – Date of access: 23.12.2023.
2. Evstigneev, A. D. Increasing the efficiency of developing control programs through the joint use of dialog programming using g-codes [Electronic resource] / A. D. Evstigneev // Innovative technologies in mechanical engineering: collection of proceedings of the International scientific and practical correspondence conference (dedicated to the 65th anniversary day of the founding of the mechanical engineering faculty of Ulyanovsk State Technical University (UISTU/ULSTU), Ulyanovsk, November 30, 2022 / Ulyanovsk State Technical University ; resp. ed.: V. P. Tabakov, D. V. Kravchenko. – Ulyanovsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Technical University”, 2022. – P. 304–309. – Mode of access: <http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2022/100.pdf>. – Date of access: 25.12.2023.
3. CNC lathe operator. CNC operator. ODO "DISCOMS" [Electronic resource] // Praca.by. – Mode of access: <https://praca.by/vacancy/579371/>. – Date of access: 20.12.2023.
4. Unified system of design documentation. Electronic model of the product. General provisions: GOST 2.052-2021. – Instead of GOST 2.052-2015 ; enter. 01.08.2021. – M.: Standartinform, 2022. – 16 p.
5. Savitsky, V. V. The use of 3D-models in the automation of design and technological preparation of production [Electronic resource] / V. V. Savitsky // Innovative technologies in mechanical engineering : collection of proceedings of the International scientific and practical correspondence conference (dedicated to the 65th anniversary of the founding of the mechanical engineering faculty of Ulyanovsk State Technical University (ULSTU)), Ulyanovsk, November 30, 2022 / Ulyanovsk State Technical University ; resp. ed.: V. P. Tabakov, D. V. Kravchenko. – Ulyanovsk, 2022. – P. 296–303. – Mode of access: <http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2022/100.pdf>. – Date of access: 25.12.2023.

## SPISOK LITERATURY

1. Kak pisat' programmy dlya stankov s CHPU. Ot teorii k praktike [Elektronnyy resurs] / Tverskoy stankostroitel'nyy zavod – stanki s CHPU // Dzen. – Rezhim dostupa: <https://dzen.ru/video/watch/65659213c927455e033ddd77>. – Data dostupa: 23.12.2023.
2. Yevstigneyev, A. D. Povysheniye effektivnosti razrabotki upravlyayushchikh programm putem sovmestnogo ispol'zovaniya dialogovogo programmirovaniya s ispol'zovaniyem g-kodov [Elektronnyy resurs] / A. D. Yevstigneyev // Innovatsionnyye tekhnologii v mashinostroyenii : sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy zaochnoy konferentsii (posvyashchayetsya 65-letiyu so dnya osnovaniya mashinostroitel'nogo fakul'teta Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (UIGTU/ULSTU)), Ul'yanovsk, 30 noyabrya 2022 g. / UIGTU ; отв. ред.: V. P. Tabakov, D. V. Kravchenko. – Ul'yanovsk : FGBOU VO «Ul'yanovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet», 2022. – S. 304–309. – Rezhim dostupa: <http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2022/100.pdf>. – Data dostupa: 25.12.2023.
3. Naladchik tokarnykh stankov s CHPU. Operator CHPU. ODO "DISKOMS" [Elektronnyy resurs] // Praca.by. – Rezhim dostupa: <https://praca.by/vacancy/579371/>. – Data dostupa: 20.12.2023.
4. Yedinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii. Elektronnyaya model' izdeliya. Obshchiye polozheniya : GOST 2.052-2021. – Vzamen GOST 2.052-2015 ; vved. 01.08.2021. – M. : Standartinform, 2022. – 16 s.
5. Savickij, V. V. Ispol'zovaniye 3D-modeley v avtomatizatsii konstruktorsko-tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva [Elektronnyy resurs] / V. V. Savitskiy // Innovatsionnyye tekhnologii v mashinostroyenii : sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy zaochnoy konferentsii (posvyashchayetsya 65-letiyu so dnya osnovaniya mashinostroitel'nogo fakul'teta Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (UIGTU / ULSTU)), Ul'yanovsk, 30 noyabrya 2022 g. / UIGTU ; отв. ред.: V. P. Tabakov, D. V. Kravchenko. – Ul'yanovsk, 2022. – S. 296–303. – Rezhim dostupa: <http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2022/100.pdf>. – Data dostupa: 25.12.2023.

Статья поступила в редакцию 29.12.2023.