

*Д. Б. Тургунбоев\**

## **ЦИФРОВОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ СТАНКОВ С ЧПУ**

Цифровое машиностроение – это не просто тренд, а неизбежный этап эволюции промышленности. Сегодня большинство станков с ЧПУ подключены к облачным серверам, обмениваются данными в режиме реального времени и управляются дистанционно. В этих условиях роль оператора меняется радикально: от простого исполнителя он превращается в менеджера процессов, который контролирует работу целого парка оборудования.

В 2025 году до 70% промышленных компаний переходят на цифровые технологии производства [1]. Это значит, что требования к квалификации операторов кардинально меняются. Рассмотрим подробнее, как именно.

### **1. Изменение роли оператора: от исполнителя к специалисту по управлению производством**

Классический подход к обучению операторов строился на передаче опыта от старших мастеров. Теперь этого недостаточно. В цифровом машиностроении оператор должен:

- Быть экспертом по оборудованию: свободно ориентироваться в интерфейсах разных систем ЧПУ (Fanuc, Siemens).
- Владеть языком программирования (G-code, Fanuc Macro) и уметь адаптировать стандартные циклы под индивидуальные задачи.
- Быть аналитиком: собирать и обрабатывать большие массивы данных о процессах резания, температуре, нагрузках и вибрациях.
- Быть менеджером: координировать работу станков, роботов и логистических систем, выступать связующим звеном между разными участками производства.

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ «ГГТУ» М. В. Соколова.

## **2. Анализ критических зон взаимодействия оператора с системой ЧПУ**

Исследования, проведенные на производстве, выявили ключевые ошибки, которые приводят к браку, простоям и поломкам инструмента:

- *Ошибка № 1:* неправильный ввод координат (25% поломок инструмента).

- *Ошибка № 2:* нарушение режима резания (брак по размеру).

- *Ошибка № 3:* пропуск замены изношенного инструмента.

- *Ошибка № 4:* невнимательность при контроле размеров.

*Графика:* диаграмма распределения ошибок (например, круговая диаграмма).

## **3. Алгоритм многоуровневой аттестации: как мы повышаем квалификацию**

Наш подход построен на сочетании классических методов обучения с инновационными цифровыми технологиями. Вот как это работает:

1. *Теоретический тест:* компьютерное тестирование (60 вопросов, 75% правильных ответов).

2. *Практическая проверка:* написание УП, наладка на тренажере.

3. *Контрольная деталь:* изготовление детали в цеху под наблюдением мастера.

*Графика:* схема потока обучения (стрелки, соединяющие теорию → практику → аттестацию).

## **4. Цифровая платформа: ядро нашей системы подготовки**

Платформа охватывает все ключевые аспекты подготовки оператора-наладчика станков с ЧПУ и структурирована по тематическим модулям:

- *Модуль «Техника безопасности при работе на станочном оборудовании».* Обязателен для прохождения перед доступом к другим разделам. Включает интерактивные лекции, видеоматериалы, иллюстрирующие правила использования СИЗ, и итоговый тест для проверки усвоения материала.

- *Модули «Ознакомление со стойками ЧПУ»:*

- *Стойка Fanuc:* теоретический материал по интерфейсу системы, описание основных функциональных клавиш, режимов работы (MDI, AUTO, EDIT) и справочник по G- и M-кодам, специфичным для Fanuc.

- *Стойка Siemens Sinumerik:* аналогично модулю Fanuc предоставляет информацию об интерфейсе Sinumerik, навигации по меню, а также справочные данные по кодам и функциям, характерным для систем Siemens.

- *Модуль «Ознакомление с режущим и мерительным инструментом».* Включает в себя каталоги с 3D-моделями инструмента (фрезы, резцы, сверла), где можно изучить их геометрию и назначение. Для каждого типа инструмента приведены правила выбора, установки и эксплуатации. Отдельный раздел посвящен методикам измерения деталей с помощью штангенциркулей, микрометров и нутромеров.

- *Модули «Основы программирования»:*

- G-код: интерактивный учебник, объясняющий синтаксис языка, структуру кадра управляющей программы (УП) и назначение основных подготовительных функций (G00, G01, G02/G03 и др.).

- M-код: раздел, посвященный вспомогательным функциям, управляющим работой станка (включение/выключение шпинделя M03/M05, подача СОЖ M08/M09 и т.д.).

- *Модуль «Чтение чертежей и технической документации».* Содержит обучающие материалы по ЕСКД, примеры чертежей деталей с ЧПУ и практические задания на интерпретацию размеров, допусков и технических требований.

- *Виртуальный тренажер-симулятор.* Ключевой элемент платформы, позволяющий отрабатывать навыки без риска для реального оборудования. Пользователь может в безопасной среде:

- Писать и редактировать управляющие программы.

- Выполнять привязку «нулевой точки» детали.

- Визуализировать траекторию движения инструмента для проверки на коллизии.

- Моделировать процесс обработки.

#### **Преимущества платформы:**

- **Универсальность:** подходит для подготовки операторов на станках с любыми системами ЧПУ (Fanuc, Siemens).

- **Интерактивность:** обратная связь в реальном времени, подсказки и советы по оптимизации УП.

- **Мобильность:** возможность учиться в удобное время и в любом месте (через мобильные приложения) [4].

5. Результаты внедрения: статистика и кейсы

Внедрение нашей методики обучения на производстве дало ощутимые результаты:

- **Прирост теоретических знаний:** средний балл итогового тестирования вырос на 30% по сравнению с контрольной группой [2].

- **Скорость выполнения операций:** время наладки и отладки УП сократилось на 25%.

- **Снижение уровня брака:** уровень брака упал на 15% (с 45 до 38 деталей на тысячу) [3].

- **Экономический эффект:** срок окупаемости платформы – 1,59 года. Инвестиции в обучение вернулись за счет повышения производительности и сокращения издержек.

**Кейсы внедрения:**

- Завод металлоконструкций: сокращение времени наладки на 30% благодаря виртуальным тренажерам.

- Автозапчасти: повышение квалификации операторов позволило перейти на круглосуточный режим работы без увеличения штата.

- Судостроение: улучшение качества обработки крупногабаритных деталей (валов, корпусов судов) за счет точного соблюдения режимов резания [5].

### Список литературы

1. Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / В. Ф. Безъязычный, В. Ф. Крылов, Ю. М. Соломенцев. – М. : Машиностроение, 2021. – 568 с.

2. Грибовский, А. А. Технология обработки на станках с ЧПУ : учебное пособие / А. А. Грибовский, В. И. Аверьянов. – М. : МГТУ «СТАНКИН», 2020. – 342 с.

3. Зубарев, Ю. М. Современные инструментальные материалы: учебник / Ю. М. Зубарев. – СПб. : Лань, 2021. – 304 с.

4. Иванов, И. С. Технология машиностроения : учебник для СПО / И. С. Иванов. – М. : Юрайт, 2023. – 426 с.

5. Цифровое машиностроение : учебное пособие : в 4 т. / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, М. В. Соколов и др. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – Т. 1. – 266 с.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы  
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*