

УДК 658.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г.А. Карачёва, Д.Н. Лихачева

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва», Красноярск, email: lihacevadara26@gmail.com

Аннотация. В данной статье подробно рассматривается необходимость перевооружения машиностроительного производства. Конкурентоспособность выпускаемой продукции является одним из основных факторов коммерческого успеха любого предприятия. Внедрение инноваций на постоянной основе — это необходимый элемент для поддержания стремительного развития компании и ее финансового благополучия. В сегодняшней конкурентной среде удержать высокую рентабельность предлагаемой продукции довольно сложно. Лишь систематически обновляя производственные процессы, внедряя передовое оборудование, предприятия могут на протяжении долгого времени достигать значительных прибылей и удерживать лидирующие позиции на рынке.

Ключевые слова: эффективность, машиностроительное производство, автоматизация, инновационная продукция.

AUTOMATION OF PRODUCTION AS A TOOL FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTION

G.A. Karacheva, D.N. Likhacheva

Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, email: lihacevadara26@gmail.com

Abstract. This article discusses in detail the urgent need to re-equip machine-building production. The competitiveness of manufactured products is one of the main factors of commercial success of any enterprise. Continuous innovation is the only way to maintain a high rate of development of the company and its level of profitability. In today's competitive environment, it is very difficult to maintain high profitability of goods. Only by constantly modernizing production and introducing innovative equipment do companies have the opportunity to achieve high profit margins for a long time and defend their market leadership positions.

Keywords: efficiency, machine-building production, automation, innovative products.

Дата поступления статьи в редакцию: 30.10.2025

Дата принятия статьи в печать: 26.12.2025

Введение

Автоматизация производства в комплексе — одно из достижений в области обработки деталей в последние годы. Огромная часть в этой автоматизации принадлежит модернизации, замены и эволюции металлорежущего оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) [1]. Любое современное машиностроительное производство становится конкурентоспособным, если на его производственных мощностях имеется и задействован парк оборудования различных групп от токарных, фрезерных центров, до совмещенных токарно-фрезерных и даже многофункциональных пяти и более осевых металлообрабатывающих центров. Всё чаще на производстве обрабатывающие центры вытесняют универсальное оборудование, поэтому в процессе изготовления детали главное участие теперь принимают не рабочие-универсалы, а технологи-программисты, наладчики и операторы станков с ЧПУ. Если, работая на универсальном станке, многое зависит от уровня профессиональной подготовки станочника, то при работе на ЧПУ станках качественно написанный программный продукт (управляющая программа (УП)) позволяет одному оператору или наладчику обслуживать несколько станков одновременно.

В настоящее время станки с ЧПУ широко применяются в машиностроительном производстве. Они позволяют обеспечить обработку различных материалов с высокой степенью точности, и скоростью, благодаря тому, что большинство технологических операций выполняется за одну установку детали, на одном многофункциональном центре. Тем не менее, процесс модернизации и замены старого оборудования на новые современные многофункциональные центры остается для многих производств проблемным по многим факторам.

Цель исследования

Целью статьи является изучение, описание и анализ различных методов перевооружения участка механической обработки машиностроительного предприятия и расчет экономической эффективности.

В качестве объекта исследования выступает машиностроительное предприятие.

Результаты исследования

Важнейшей задачей любого оборудования для обработки металла с числовым программным управлением является обеспечение точного и автоматизированного контроля за передвижением рабочих элементов. Каждый станок, оснащенный ЧПУ, обладает минимально двумя осями перемещения инструмента, а зачастую и большим их количеством. При этом, движение по каждой из этих осей происходит в автоматическом режиме и с высокой степенью точности.

В станках применяются прямолинейные оси для перемещения по прямой, а также поворотные оси, обеспечивающие круговое движение. На универсальных станках операторы вручную управляют движением детали и инструмента, вращая рукоятки винтов подачи [2].

Станки с ЧПУ оснащены сервомоторами, управляемые системой ЧПУ, а система, в свою очередь, точно и, безусловно, исполняет команды управляющей программы. В целом, можно сказать, что тип движения (линейный, круговой или ускоренный), оси перемещения, величина и скорость перемещения программируются в системах ЧПУ всех типов.

Процессор станка, выполняя команды УП, посылает импульсы — точное количество раз, шаговому двигателю. Вращение двигателя передается оси, с которой связан рабочий стол, после стол линейно перемещается [3]. Устройство обратной связи, располагается в противоположном конце оси, что дает системе ЧПУ вычислить, на какое количество градусов сместилась ось, т.е. какое количество импульсов фактически отработал шаговый двигатель.

Грубым аналогом этого процесса являются слесарные тиски. Поворачивая ручку тисков, вращается и ось, которая в свою очередь сдвигает или раздвигает губки тисков. В сравнении с тисками линейные перемещения на ЧПУ станке гораздо точнее. Каждому повороту шагового двигателя точно соответствует перемещение стола по оси.

В условиях реального производства один станок с ЧПУ может заменить целый парк универсальных станков различной функциональности, кроме того, существенно уменьшается подготовительный период и сокращается цикл изготовления продукции, возрастает гибкость.

Для увеличения эффективности их использования, особенно многофункциональных обрабатывающих центров (ОЦ), желательна их эксплуатация в многосменном режиме работы, а лучше всего по скользящему графику.

Высокий уровень автоматизации — первое преимущество использования станков с ЧПУ. Случаи вмешательства оператора или наладчика в процесс изготовления детали могут быть сведены к минимуму или вообще исключены [4]. Станки с ЧПУ позволяют работать абсолютно автономно во время всего процесса изготовления детали, поэтому его оператор в это время может выполнять прочие производственные задачи, обслуживать другие станки, корректировать настройки инструмента, делать наладку другого станка. Предприятия, использующие станки с ЧПУ, имеют дополнительные преимущества: уменьшается число ошибок работника-станочника, также точно известно время обработки деталей, есть возможность производить мониторинг и рассчитывать коэффициент загрузки оборудования. Так как станок работает при помощи УП, квалификация станочника-оператора, наладчика станка с ЧПУ может быть гораздо ниже по отношению к станочнику-универсалу.

Применение станков с числовым программным управлением обеспечивает существенное повышение точности изготовления деталей. Современное оборудование с ЧПУ характеризуется исключительной надежностью и прецизионностью обработки, что позволяет при однократном создании и верификации управляющей программы осуществлять серийное производство абсолютно идентичных изделий в любых требуемых объемах с полным соблюдением всех технологических параметров и допусков [5].

Значительным преимуществом станков с числовым программным управлением выступает их гибкая адаптивность к изменяющимся производственным задачам: модификация управляющей программы обеспечивает быструю переналадку оборудования для изготовления широкой номенклатуры компонентов, при этом отработанные алгоритмы допускают многократное применение в любой временной период без ограничений.

В нынешних реалиях практически каждая компания, занимающаяся изготовлением деталей посредством механической обработки, оснащена станками с числовым программным обеспечением. В отли-

чие от традиционных универсальных станков, где оператор осуществляет управление вручную, в станках с ЧПУ все процессы автоматизированы и контролируются электронными системами.

В настоящее время большинство компаний отдают предпочтение инвестициям в оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) вместо традиционных, более доступных по цене аналогов [6]. Основным преимуществом станков с ЧПУ является повышенная автоматизация производственных процессов. Участие человека в работе оборудования сведено к минимуму. Эти системы способны функционировать практически самостоятельно, обеспечивая выпуск продукции высокого качества. В обязанности обслуживающего персонала входит в основном подготовка оборудования к работе и контроль за его состоянием, включая настройку и проверку инструментов, установку и извлечение заготовок. Эти задачи вполне по силам одному оператору, контролирующему сразу несколько станков.

Значительным преимуществом выступает производственная адаптивность оборудования, обеспечивающая оперативное переключение между различными технологическими операциями посредством замены управляющей программы ЧПУ. Сохранение ранее использованных программных алгоритмов в накопительном устройстве гарантирует их моментальную доступность при возникновении производственной необходимости.

Станки с ЧПУ демонстрируют исключительную точность и стабильную воспроизводимость технологических операций, исключая влияние человеческого фактора на качество обработки, характерное для ручного производства. Данное оборудование обеспечивает неизменно высокий уровень исполнения независимо от длительности производственного цикла, а также позволяет реализовывать сложные технологические решения при изготовлении компонентов, недоступных для обработки на традиционных станках, в частности, штампов и пресс-форм.

Регламентированное время обработки заготовки посредством ЧПУ обеспечивает прецизионное определение длительности производственного цикла для партии деталей, способствуя оптимизации производственного планирования.

Существенным ограничивающим фактором внедрения станков с ЧПУ выступает их значительная стоимость, включающая как первоначальные капиталовложения в приобретение и монтаж оборудования, так и последующие эксплуатационные расходы на техническое обслуживание. Однако экономическая эффективность данных систем, обусловленная высокой производительностью и прецизионностью обработки, в долгосрочной перспективе компенсирует первоначальные затраты.

В отличие от традиционных металлорежущих станков с механическими связями, где кинематическое взаимодействие исполнительных органов и источника движения реализуется посредством механических цепей и передач, токарные станки с числовым программным управлением характеризуются существенно расширенным технологическим функционалом [7].

Современные станочные системы с ЧПУ характеризуются существенной модернизацией традиционной кинематической схемы, где механические элементы управления (коробки передач, реверсивные механизмы и сменные гитары) замещаются программно-управляемыми электроприводами различных типов, включая асинхронные с частотно-токовым регулированием и двигатели постоянного тока. Данная трансформация обеспечивает прецизионный контроль параметров движения (скорости, направления и траектории), одновременно упрощая механическую составляющую конструкции и повышая эксплуатационные характеристики оборудования.

Станки с числовым программным управлением характеризуются следующими ключевыми детерминантами:

1. Высокая степень автоматизации рабочих процессов, реализуемая посредством программируемых алгоритмов управления исполнительными механизмами, существенно отличает данный класс оборудования от традиционных металлообрабатывающих систем. В структуре современных ЧПУ-комплексов интегрированы прецизионные измерительные компоненты и передовые системы позиционирования, обеспечивающие беспрецедентную точность обработки деталей. Многофункциональность и гибкость технологических возможностей достигается благодаря модульной архитектуре и расширенному инструментальному оснащению, позволяющему оперативно адаптировать производственный процесс под различные задачи металлообработки. При этом минимизация человеческого фактора и строгая алгоритмизация рабочих циклов гарантируют стабильно высокое качество конечной продукции.

2. Мощные силовые агрегаты главного движения, превышающие 40 кВт, реализуются преимущественно посредством электродвигателей постоянного тока, обеспечивающих возможность плавного регулирования частоты вращения шпинделя, либо посредством трехфазных асинхронных электродвигателей с расширенным диапазоном ступенчатого регулирования, насчитывающим от 18 до 20 и более дискретных позиций.

3. Диапазон регулирования частоты вращения шпинделя характеризуется исключительно широким диапазоном — от минимальных значений до 2000 об/мин, при этом коэффициент регулирования достигает величины 1:200.

Применение шпиндельных механизмов обеспечивает беспрецедентный диапазон плавного регулирования привода подачи, достигающий в отдельных моделях металлорежущих станков соотношения 1:1200 (1-1200 мм/мин). Передовые конструкторские решения позволяют существенно расширить данный диапазон — вплоть до 0,1-10000 мм/мин, что открывает возможности прецизионной настройки параметров подачи для каждого технологического перехода.

Современные станки с числовым программным управлением характеризуются наличием минимум двух независимо управляемых координатных осей, обеспечивая возможность формирования комплексных траекторий перемещения исполнительных механизмов, что принципиально отличает их от традиционных копировальных систем.

В современных станках с числовым программным управлением обеспечивается интенсивность перемещения суппортного узла до 4,8 м/мин, с возможностью достижения пиковых значений 10 м/мин, что существенно минимизирует длительность вспомогательных операций.

Высокоточная обработка на станках с числовым программным управлением достигается благодаря их конструктивной жесткости и расширенному инструментальному оснащению, включающему двенадцать и более позиций в автоматизированной системе.

Универсальность использования станков с ЧПУ, особенно в условиях единичного и мелкосерийного производства, подталкивает вновь образовавшиеся современные предприятия машиностроительного комплекса организовывать механическую обработку на новом уровне. В условиях конкуренции прагматически настроенные руководители старых флагманов российского машиностроения также видят будущее своих предприятий в замене универсального парка станочного оборудования на многопрофильные металлообрабатывающие центры с ЧПУ. Принимая во внимание определенное отставание отечественных станкостроителей в области создания таких высокопроизводительных комплексов, отрицательный эффект от введения секторальных санкций против России западным сообществом государств, можно констатировать устойчивую тенденцию к обновлению существующего станочного парка.

Произведем оценку станков по выбранным параметрам. Для удобства анализа аналогов и выбора прототипа станка составляем карту моделей станков в виде таблицы 1.

Таблица 1

Технические характеристики моделей горизонтально-фрезерных станков с ЧПУ

Характеристики станков	HM80TD	EC-1600ZT	АН-630	BMC-2015	MH1000B
Размеры рабочего стола (паллет), мм	800×800	1626×914	630×630	2000×1400	1000×1000
Т-образные паза		16×125×7	22×160×6	9×22	
Макс. масса заготовки, кг	1600	4536	1200	6000	2000
Макс. перемещение по осям: – стола продольное (X) – шпинделя вертикально (Y) – стойки поперечно (Z)	- 1050 1050	1626 1270 1016	1020 900 900	2100 1500 800	1300 1200 1200
Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола, мм	250-1300	304	50-950	200-1000	
Расстояние от оси шпинделя до центра рабочего стола, мм	120-1170	304	200-1100	150-860	200-1400
Конус шпинделя	BT50	ISO 50	BBT 50	BT 50	ISO50
Пределы частот вращения шпинделя, мин-1	4500	7500	100000	6000	8100
Диапазон рабочих подач, мм/мин:	1-10000	1-10000	10	20	20,4
Ускоренное перемещение по осям X, Y, Z, м/мин:	16/24/24	15,2/15,2/15,2	48/36/10	20/20/15	
Точность позиционирования по осям X, Y, Z, мм	0,001	±0,01	±0,005	±0,005	±0,005
Макс. размер инструмента при заполненном магазине (D/L), мм/вес, кг	Ø125/ L400/25	Ø102 (254)/ L508/13,6	Ø115(230)/ L500/20	Ø255/ L400/20	Ø64/Ø152/5,4
Позиционирование	±0,0051	±0,0051	±0,0051	±0,0051	±0,0051

продолжение табл. 1

окончание табл. 1					
Емкость магазина инструментов, шт.	40	50+1	60	30	40+1
Стоимость, руб.	24260000	10250000	15500000	21640000	16450000
Время смены инструмента, с.	1,2	8	5	2	2,8
Мощность главного электродвигателя, кВт	22	22,4	22	15	22,4
Габаритные размеры станка, мм	5290×5500×3250	3275×6280×3200	6100×5982×4011	6000×4600×2915	4306×6970×3970
Масса станка, кг	20000	15876	16500	23500	25500
ЧПУ	Fanuc Oi-MF PLUS	Fanuc Oi	Fanuc Oi-M	Fanuc Oi	Fanuc Oi

При анализе прототипов станков в качестве базового станка на замену выбираем горизонтально-фрезерный обрабатывающий центр HAAS EC1600, так как данный станок близок по габаритам к заменяемому [8]. Так же он имеет наименьший вес из предложенных, что упростит доставку и монтаж станка на рабочее место и наименьшую стоимость, которая позволяет снизить срок окупаемости проекта.

Сравнение технических характеристик станков HAAS EC1600 и 6T82Г представлено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение технических характеристик станков

Техническая характеристика	HAAS EC1600	6T82Г
Параметры рабочей зоны		
Размеры рабочей поверхности стола, мм	1626 x 914	1250 x 320
Количество Т-образных пазов	7	3
Ширина Т-образных пазов, мм	16	18
Расстояние между соседними Т-образными пазами, мм	125	63
Максимально допустимая нагрузка на стол, кг	4536	400
Параметры шпинделя		
Исполнение конуса шпинделя	ISO50	ISO50
Максимальная частота вращения шпинделя, об./мин.	7500	1600
Максимальный крутящий момент, кНм	460	75
Максимальная мощность на шпинделе, кВт	22,4	7,5
Способ передачи крутящего момента	зубчатый редуктор	зубчатый редуктор
Параметры перемещений рабочих органов		
Величина рабочих перемещений по осям X, Y, Z, мм	1626, 1270, 1016	800, 320, 370
Расстояние от торца шпинделя до центра стола, мм	203-1219	125-545
Расстояние от зеркала стола до оси шпинделя, мм	292-1562	30-400
Расстояние от зеркала стола до оси шпинделя с встроенной планшайбой, мм	140-1410	30-450
Максимальная величина рабочих подач, м/мин	12,7	1,6
Максимальная скорость холостых перемещений, м/мин	15,2	4
Максимальные допустимые усилия по осям X, Y, Z, кН	17.8, 35.6, 35.6	15, 12, 5
Параметры инструментального магазина		
Исполнение инструментального магазина	бокового типа	–
Тип устанавливаемых оправок	CT50	С конусом Морзе №4
Количество инструментальных позиций в магазине	30	1
Максимальный диаметр устанавливаемого инструмента, мм	254	200
Максимальный вес устанавливаемого инструмента, кг	13.6	100
Время смены инструмента (среднее), сек	8	120
Максимальная длина устанавливаемого инструмента, мм	508	630
Параметры точности		
Точность позиционирования суппорта, мм	±0,0076	±0,05
Повторяемость позиционирования суппорта, мм	±0,0051	±0,05
Параметры устройства ЧПУ		
Тип устройства	HAAS	–
Количество управляемых осей	3	–
Тип монитора для отображения информации	LCD 15"	–
Скорость обработки программ, блоков/сек.	1000	–
Тип интерфейса для подключения съемных носителей памяти	USB	–
Объем памяти для хранения программ, ГБ	1	–
Минимальная дискретность задаваемых значений, мм	0,001	–

Исходя из таблицы 2, можно сделать вывод, что предлагаемый горизонтально-фрезерный обрабатывающий центр HAAS EC1600 обладает более высокой производительностью, экономичнее в использовании ресурсов и более современными технологиями. Таким образом, он представляет собой более эффективное и продвинутое решение по сравнению с имеющимся 6Т82Г.

Определим экономическую эффективность замены станка. Потребность в материалах и комплектующих производства продукции при используемой и предлагаемой технологии представлена в таблице 3.

Таблица 3

Расход материалов и комплектующих при производстве продукции

Наименование	Ед. изм.	Цена за ед., руб.	Используемая технология		Предлагаемая технология	
			Нормы расхода	Стоимость, руб.	Нормы расхода	Стоимость, руб.
Материалы						
Заготовка	кг.	65000,00	0,6	39000,00	0,55	35750,00
Комплектующие						
Смазка	л	1070,00	0,02	21,40	0,01	10,70
Охлаждающая жидкость	л	2550,00	-		0,15	382,50
Фрезы	шт.	4690,00	2,5	11725,00	0,4	1876,00
Итого материалы и комплектующие				50746,40		38019,00

Таким образом, при используемой технологии стоимость на материалы и комплектующие выше на 12727,20 руб., чем при предлагаемой технологии.

Необходимо рассчитать первоначальную стоимость приобретаемого оборудования, которая представлена в таблице 4.

Таблица 4

Расчёт первоначальной стоимости приобретаемого оборудования

Наименование	Стоимость, тыс. руб.	Транспортные расходы, 10%	Подготовка производственных площадей, 5%	Работы по интеграции ПО, 10%	Первоначальная стоимость, тыс. руб.
Оборудование					
HAAS EC1600	10250,00	1025,00	512,50	1025,00	12812,50
Итого					12812,50

Общая сумма первоначальной стоимости нового оборудования составит 12812,50 тысяч рублей.

Срок эксплуатации оборудования составляет 25 лет. Произведем расчёт амортизационных отчислений по приобретаемому оборудованию линейным способом начисления амортизации в таблице 5.

Таблица 5

Расчёт амортизационных отчислений по приобретаемому оборудованию

Оборудование	Первоначальная стоимость, тыс. руб.	Количество шт.	Сумма, тыс. руб.	Срок эксплуатации, лет	Сумма амортизации, тыс. руб.
HAAS EC1600	12812,50	1	12812,50	25	512,50
Итого			12812,50		512,50

Ежегодная величина амортизационных отчислений составит 512,50 тыс. руб.

Определим остаточную стоимость оборудования за 5 лет его использования в таблице 6.

Таблица 6

Расчет остаточной стоимости, тыс. руб.

Показатель	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Приобретение оборудования и нематериальных активов	12812,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Первоначальная стоимость	12812,50	12812,50	12812,50	12812,50	12812,50
Амортизационные отчисления	512,50	512,50	512,50	512,50	512,50
Остаточная стоимость:					
– начало года	12812,50	12300,00	11787,50	11275,00	10762,50
– на конец года	12300,00	11787,50	11275,00	10762,50	10250,00
Среднегодовая стоимость	12556,25	12043,75	11531,25	11018,75	10506,25

По итогам данной таблицы видно, что остаточная стоимость за 5 лет сократилась с 12812,50 тыс. руб. до 10506,25 тыс. руб.

Определение себестоимости продукции при используемой и предлагаемой технологии на единицу продукции, а также на весь объем представлено в таблице 7.

Таблица 7

Себестоимость продукции при используемой и предлагаемой технологии

Наименование статей затрат	Используемая технология		Предлагаемая технология	
	На единицу продукции, руб.	На весь объем, тыс. руб.	На единицу продукции, руб.	На весь объем, тыс. руб.
Материалы и комплектующие	50746,4	9134,35	38019,2	11785,95
Топливо и энергия на технологические нужды	22704	4086,72	18524	5742,44
Расходы на оплату труда основных рабочих с отчислениями на социальные нужды	10705,63	1927,01	7308,04	2265,49
Амортизация	2360,78	424,94	3306,45	1025,00
Итого прямых затрат	86516,81	15573,03	67157,69	20818,88
Общепроизводственные расходы	5352,78	963,50	3654	1132,74
Итого цеховая себестоимость	91869,59	16536,53	70811,69	21951,62
Общехозяйственные расходы	3211,67	578,10	2192,39	679,64
Итого производственная себестоимость	95081,26	17114,63	73004,08	22631,26
Коммерческие (внепроизводственные) расходы	9508,13	1711,46	7300,41	2263,13
Всего полная себестоимость	104589,39	18826,09	80304,49	24894,39
Цена	120277,79		96365,39	
Выручка от реализации продукции		21650,00		29873,271
Прибыль от реализации продукции		2823,91		4978,88
Рентабельность продаж, %		13,04		16,67

Сопоставление показателей полной себестоимости демонстрирует существенное снижение затрат при внедрении новой технологии – с 104589,39 до 80304,49 тыс. руб., что свидетельствует о значительном экономическом эффекте предлагаемых технологических изменений.

Представленные в таблице 8 индикаторы отражают экономическую целесообразность реализации проекта.

Таблица 8

Показатели экономической эффективности инвестиций

Показатели	Значение
Период расчета, лет	5
Инвестиции, I	14016,29
Чистая текущая стоимость (NPV), тыс. руб.	1906,17
Динамический срок окупаемости (dPP), лет	4,79
Индекс доходности (PI)	1,14

Результаты комплексного финансово-экономического анализа свидетельствуют о высокой инвестиционной привлекательности рассматриваемого проекта с совокупным объемом капиталовложений 14016,29 тыс. рублей. Положительное значение чистой приведенной стоимости в размере 1906,17 тыс. рублей в сочетании с индексом прибыльности 1,14 демонстрирует устойчивую способность генерируемых денежных потоков обеспечить полное покрытие инвестиционных затрат. При этом каждая инвестированная денежная единица обеспечивает 14-процентный прирост дисконтированного капитала за период реализации инициативы. Дисконтированный период окупаемости составляет 4 года и 9 месяцев, что в совокупности с проведенным организационно-техническим обоснованием подтверждает экономическую целесообразность реализации проекта.

Выводы

Станки с ЧПУ сегодня являются ключевым элементом современного производства, обеспечивая высокую точность, автоматизацию и гибкость обработки деталей.

Внедрение современных обрабатывающих центров с ЧПУ демонстрирует качественный скачок в развитии производственных технологий, обеспечивая комплексную модернизацию станочного парка при существенном сокращении производственного цикла. Несмотря на значительные капитальные затраты

и эксплуатационные расходы, минимизация влияния человеческого фактора в сочетании с возможностью многозадачного управления и стабильной воспроизводимостью параметров изделий обуславливает экономическую целесообразность подобных инвестиций в промышленном секторе. Высокоточное оборудование, в частности станки серии HAAS EC1600, открывает принципиально новые технологические возможности, сочетая высокую производительность с прецизионной обработкой сложнопрофильных деталей. Масштабное обновление производственных мощностей на базе ЧПУ-технологий выступает ключевым фактором повышения конкурентоспособности отечественного машиностроительного комплекса, определяя стратегические перспективы его развития.

Литература

1. Рагозина М.А., Силкин М.И., Тукуреев В.И., Покусаева А.А. Особенности мелкосерийного автоматизированного производства // Инновационные технологии в науке и образовании: сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 января 2019 года. Пенза: Общество с ограниченной ответственностью «Наука и Просвещение», 2019. С. 184-186. EDN YUFBFZ.
2. Технология фрезеровки изделий. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.axispanel.ru/technology/metal-milling/> (дата обращения: 29.10.2025).
3. Рагозина М.А., Ивашов В.Е., Ивашова О.О. Организационные механизмы проведения модернизации на промышленном предприятии // Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования: сборник статей II Международной научно-практической конференции: в 3 ч., Пенза, 30 декабря 2018 года. Часть 2. Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. С. 58-60. EDN: VQBFJW.
4. Конструктивно-технологические особенности элементов конструкции ракетно-космических систем. [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/1672452/page/4/> (дата обращения: 29.10.2025).
5. Изготовление фрезерных станков с ЧПУ. [Электронный ресурс]. URL: <https://stankomach.com/katalog-stankov/frezernye/> (дата обращения: 29.10.2025).
6. Изготовление фрезерных станков с ЧПУ. [Электронный ресурс]. URL: <https://stankomach.com/katalog-stankov/frezernye/> (дата обращения: 29.10.2025).
7. Янькова Т.В., Рагозина М.А. Технико-экономическое обоснование модернизации оборудования на ОАО "Красмаш" // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2010. Т. 2, № 6. С. 70-71. EDN: TBIESJ.
8. Оптимизация процесса высокоскоростного фрезерования. [Электронный ресурс]. URL: https://carbidetool.ru/high_speed_cutting (дата обращения: 29.10.2025).

