

М385505

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана



На правах рукописи

СОТВОЛДИЕВ Абдусалом Эгамбердиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ УСЛОВИЙ
ПРИМЕНЕНИЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Специальность 05.02.07 -
Автоматизация в машиностроении

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1981

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор Л.И.ВОЛЧКЕВИЧ

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор В.Э.ПУШ
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
В.Г.СЕРЕБРЕННЫЙ

Ведущее предприятие — ОРГСТАНКИНПРОМ

Защита диссертаций состоится " " 1981
на заседании специализирован

Н.Э.Баумана по адресу:

г. Москва, 107005, Б-5

С диссертацией можно с

Н.Э.Баумана

Ваши отзывы на автореф
печатью просим направлять

Автореферат разослан "

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТ

Л-69616 от 12-10-1981 г. 00

Типография МВ

М383303

М 383903

Актуальность работы. В соответствии с "Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" намечается повысить технический уровень и качество продукции машиностроения, средств автоматизации и приборов, значительно поднять экономичность и производительность выпускаемой техники, ее надежность и долговечность. В машиностроении планируется повысить производительность труда на 31-35%. Особое внимание при этом уделяется автоматизации серийного производства. Намечается значительное увеличение выпуска металлообрабатывающих станков с ЧПУ, особенно многооперационных с автоматической сменой инструментов, которые являются прогрессивным оборудованием для автоматизации серийного производства, где производится 75-80% всей продукции машиностроения. Поэтому определение целесообразных условий для наиболее эффективного использования металлорежущего оборудования с ЧПУ является важной и актуальной задачей.

Цель работы. Разработка научных методов анализа и оценки производительности станков с ЧПУ, внедряемых в серийном производстве, и рекомендаций по определению целесообразных условий их применения и перспективам развития некоторых конструктивно-компоновочных решений.

Научная новизна выполненного исследования заключается в разработке методов теоретического и экспериментального исследования производительности станков, работающих в условиях серийного производства, выявлении важнейших факторов повышения производительности и определении целесообразных условий наиболее эффективного применения различных конструктивно-компоновочных решений станков с ЧПУ.

Практическая ценность. На основании теоретических и экспериментальных исследований производительности станков, работающих в условиях серийного производства, выявлены важнейшие факторы повышения производительности, даны рекомендации по определению целесообразных условий эффективного применения различных типов станков с учетом специфики конкретного производства. Результаты работы внедрены на заводе "Гидропресс" Минстанкопрома (г. Нелидово) и Ферганском механическом заводе с фактическим и ожидаемым экономическим эффектом 21 тыс. руб. Результаты работы могут быть использованы на заводах, работающих в условиях серийного производства, а также в кустовых вычислительных центрах,

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1383303

Сотвордиев А.Э. Исследования

I

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

разрабатывающих программы управления станками с ЧПУ.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на двух научно-технических конференциях (г. Пенза и г. Омск), на научно-техническом семинаре в МДНТП (г. Москва) и на научных семинарах кафедры "Станки и автоматы" МВТУ им. Н.Э.Баумана. По результатам выполненных работ опубликовано 4 статьи в научно-технических журналах и сборниках.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав и выводов по работе, изложенных на 114 страницах машинописного текста, и содержит 12 таблиц, 48 рисунков и список литературы из 76 наименований.

В первой главе показаны тенденции развития и дан анализ производительности оборудования с ЧПУ. Практика и опыт внедрения станков с ЧПУ показывают, что основным источником их экономической эффективности по сравнению с универсальными станками является повышение производительности за счет интенсификации режимов обработки, совмещения операций, уменьшения длительности холостых ходов, сокращения простоев технического и организационного характера и др. Показано, что наиболее весомым фактором повышения производительности является сокращение вспомогательного времени. Чем меньше суммарное время несовмещенных вспомогательных переходов, тем выше техническое совершенство станка и его производительность. Поэтому сокращение вспомогательных переходов является в настоящее время одним из основных направлений совершенствования многооперационных станков с ЧПУ, важнейшим источником эффективности их внедрения. С этих позиций рассмотрены некоторые направления и тенденции развития конструкций многооперационных станков с ЧПУ (автоматизация загрузки изделий, синхронизация перемещений инструментального магазина и автооператора со шпинделем и др.).

В литературном обзоре дается анализ известных работ по вопросам производительности, надежности и экономической эффективности станков с ЧПУ. Отмечается разноречивость многих исследований по вопросу оценки повышения производительности обработки на станках с ЧПУ по сравнению с обычными станками (от 30 до 300%). Оценки носят, как правило, экспертный характер без учета всего комплекса факторов, влияющих на производительность и эффективность станков с ЧПУ, без чего невозможно научно обосновать целесообразность их применения в различных условиях. С учетом ска-

занного поставлены основные научные задачи работы:

1. Разработка математических моделей производительности станков с ЧПУ и универсальных станков в условиях серийного производства;

2. Разработка поэлементных методов исследования и сравнительной оценки факторов производительности в производственных и лабораторных условиях;

3. Оценка влияния перевода обработки деталей с универсальных станков на станки с ЧПУ на важнейшие факторы производительности (режимы резания, длительность обработки, время холостых ходов, длительность переналадки и др.).

4. Разработка метода определения и оценки целесообразных условий применения различных конструктивно-компоновочных вариантов оборудования с ЧПУ.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей производительности станков с ЧПУ и универсальных станков в условиях серийного производства.

Теоретические разработки по производительности металлорежущих станков и автоматов до настоящего времени выполнялись в основном применительно к массовому производству, без учета таких важных факторов серийного производства, как размеры партии деталей, времени переналадки на новую программу, переустановку деталей и др. Расчет производительности выполнялся только для одного вида обрабатываемых деталей.

Производительность оборудования в условиях серийного производства следует рассматривать как комплексную "интегральную" величину, характеризующую возможности оборудования при обработке всего комплекса изделий, закрепленных за данным оборудованием, с учетом размеров партий деталей. Возможны следующие варианты расчетов производительности:

1. Расчет по выбранной типовой детали-представителю, характеристики которой принимаются средними для всего комплекса.

2. Расчет по средним (интегральным) характеристикам всего комплекса деталей, закрепленных за данным станком, которые могут и не соответствовать какой-либо конкретной детали.

Второй путь по нашему мнению является более общим, так как позволяет избежать субъективных ошибок.

Длительность рабочего цикла T с учетом основных составляющих затрат времени при бесперебойной работе станков и времени

переналадки $\Theta_{\text{пер}}$ в условиях серийного производства равна

$$T = t_p + \Sigma t_x = t_{cp} \cdot S + t_{x_1} + t_{x_2} \cdot S + t_{x_3} \cdot A + t_{x_4} \cdot (n-1) \text{ [мин]}; \quad (1)$$

$$\Theta_{\text{пер}} = \Theta_{\text{пер}_1} + \Theta_{\text{пер}_2} \cdot S \text{ [мин]}, \quad (2)$$

где t_p - суммарное время рабочих ходов цикла; Σt_x - суммарное время холостых ходов; t_{cp} - среднее время одного рабочего прохода инструмента как интегральная характеристика всех операций обработки с учетом типа обрабатываемых деталей и режимов их обработки; S - среднее количество единичных рабочих проходов при обработке одной детали; A - среднее число инструментов при обработке одной детали; t_{x_1} - среднее время установки и зажима детали в приспособлении и съема ее после обработки; t_{x_2} - среднее время смены координат между проходами (быстрый отвод шпинделя после рабочего прохода, перемещение рабочего органа станка в новую координату, быстрый подвод шпинделя к обрабатываемой детали); t_{x_3} - среднее время смены инструмента (быстрый отвод шпинделя для смены инструмента, собственно смена, подвод инструмента после его смены); t_{x_4} - среднее время переустановок детали с одной плоскости на другую; n - число обрабатываемых плоскостей, для которых требуются переустановки детали; $\Theta_{\text{пер}_1}$ - среднее время переналадки, не зависящее от числа операций (замена программносителя и приспособления, кинематическая перенастройка и др.); $\Theta_{\text{пер}_2}$ - среднее время переналадки, пропорциональное числу проходов (замена комплекта инструментов, обработка пробной детали, ее контроль, поднастройка и др.).

С учетом потерь по оборудованию B_c как простоев, приходящихся на единицу времени безотказной работы, организационных потерь, выражаемых через коэффициент загрузки η_z , и среднего размера партии изделий между переналадками Z формула сменной производительности станков в условиях серийного производства примет вид

$$Q = \frac{480 \cdot \eta_z}{T(1+B_c) + \Theta_{\text{пер}}/Z} = \frac{480 \cdot \eta_z}{[t_{cp} \cdot S + t_{x_1} + t_{x_2} \cdot S + t_{x_3} \cdot A + t_{x_4} \cdot (n-1)](1+B_c) + \frac{\Theta_{\text{пер}_1} + \Theta_{\text{пер}_2} \cdot S}{Z}} \text{ [шт/см]} \quad (3)$$

Формула (3) позволяет рассчитывать и анализировать производительность станков как функцию следующих характеристик:

I. Обрабатываемых изделий и технологических процессов (t_{cp} , S , A , n).

2. Технологического оборудования (по быстродействию t_{x_1} , t_{x_2} , t_{x_3} , t_{x_4} ; надежности B_c ; мобильности $\Theta_{\text{пер}_1}$ и $\Theta_{\text{пер}_2}$).

3. Условий производства (Z и η_3).

Формула (3) является справедливой для любого однопозиционного оборудования, работающего в условиях серийного производства (станки с ЧПУ, универсальные станки и др.). Если станок позволяет совмещать операции (многоинструментная обработка) и тем самым $t_p = t_{cp} \cdot S/K$, то с учетом коэффициента совмещения формула производительности примет вид

$$Q = \frac{480 \cdot \eta_3}{[t_{cp} \cdot S/K + t_{x_1} + t_{x_2} \cdot S + t_{x_3} \cdot A + t_{x_4} \cdot (n-1)] \cdot (1 + B_c) + (\Theta_{\text{пер}_1} + \Theta_{\text{пер}_2} \cdot S)/Z} \left[\frac{\text{шт}}{\text{см}} \right] \quad (4)$$

На основе данных моделей разработана методика и проведен ряд исследований факторов производительности станков с ЧПУ в производственных и лабораторных (стендовых) условиях. В основу методики производственных исследований были положены принципы, используемые в условиях массового производства (классификатор потерь, методы наблюдения, математическая обработка результатов) с необходимыми дополнениями и изменениями. Предложены также методы расчета характеристик t_{x_1} , t_{cp} , t_{x_2} , t_{x_3} , t_{x_4} и $\Theta_{\text{пер}}$, учитывающие особенности серийного производства.

Метод расчета и анализа производительности станков апробирован в условиях производства на различных типах станков с ЧПУ. На заводе "Динамо" им. С.М.Кирова (г. Москва) исследовались токарные станки с ЧПУ модели I75IФ3, на заводе "Гидропресс" (г. Нелидово) — многооперационные станки модели 6906ВМФ2 и станки с ЧПУ модели 2М55Ф2, на Ферганском механическом заводе — многооперационные станки модели МА655СМН. Одновременно на этих заводах проводились аналогичные исследования и на универсальных станках с ручным управлением при обработке деталей такого же типа.

Эксплуатационные исследования многооперационных станков с ЧПУ модели 6906ВМФ2 показали, что время их работы составило лишь 60,7%, а остальные 39,3% — это простои. Наибольший вес имеют организационные простои — 18,5%, за ними следуют простои по оборудованию и инструменту — 14,6%, по переналадке — 6,2%. С учетом сказанного значения B_c и η_3 соответственно равны 0,23 и 0,82.

В работе показано, что для станков с ЧПУ возможны расчет и анализ производительности в стендовых условиях, что до сих

пор для автоматов и автоматических линий не практиковалось. Показано, что отдельные характеристики по быстродействию и мобильности (например, среднее время холостых ходов при смене координат, среднее время смены инструмента, среднее время переустановки и др.) являются для конкретных станков статистически устойчивыми. При стендовых испытаниях не только определяются численные значения параметров быстродействия, но и оцениваются факторы, влияющие на быстродействие. На станке модели 6906ВМФ2 были проведены стендовые испытания длительности перемещений координатного стола. Суммарное время отработки перемещения складывается из следующих элементов: времени запаздывания команд; времени разгона стола; установившегося движения; торможения для обеспечения точности позиционирования.

Статистические исследования показали, что при обработке корпусных деталей средних габаритов количество координатных перемещений стола на расстояния от 20 до 80 мм составляет 70% от общего количества перемещений. При движении в этих пределах у станков с ЧПУ модели 6906ВМФ2 почти 70% времени составляет торможение и только 10% — время движения с установившейся скоростью. Поэтому, например, при номинальной скорости 5 м/мин и величине хода 400 мм фактическая средняя скорость составляет 1,2 м/мин, а при величине хода 70 мм — только 0,2–0,3 м/мин, что необходимо учитывать при расчетах производительности. Подставляя полученные численные значения характеристик оборудования в формулу производительности, получим уравнение производительности данного оборудования при обработке различных изделий и их партий. Например, для станка с ЧПУ модели 6906ВМФ2 уравнение производительности имеет вид

$$Q = \frac{480 \cdot \eta_z}{[t_{cp} \cdot S + 7,43 + 0,26 \cdot S + 0,53 \cdot A + 0,2 \cdot (n-1)] \cdot 1,23 + (35,5 + 2,7 \cdot S) / z} \left[\frac{\text{шт}}{\text{см}} \right]. \quad (5)$$

Предложенный метод оценки и анализа производительности отличается тем, что характеристики самого станка выражаются в численном виде, а характеристики обрабатываемых изделий и условий производства — в общем. Следовательно, производительность конкретного станка с ЧПУ в условиях серийного производства характеризуется не конкретной цифрой, а диапазоном возможных значений. Зная характеристики обрабатываемых изделий (число проходов и инструментов, длительность проходов), величину производи-

тельности можно рассчитать теоретически для конкретных типов изделий. Варьируя z и η_z можно анализировать производительность станков в различных условиях производства.

Третья глава посвящена оценке влияния перевода обработки деталей от станков с ручным управлением (РУ) к станкам с ЧПУ на важнейшие факторы качества изделий и производительности: точность диаметральных размеров изделий; технологические режимы и соответственно длительность рабочих ходов для различных видов обработки; время загрузки и съема изделий; время смены координат; время переустановки; время переналадки; надежность станков. Метод основан на анализе тенденций изменения элементов затрат времени, различных по своей сущности.

Поэлементный анализ и исследование производительности различных станков при обработке корпусных изделий показали, что в каждом конкретном случае сочетание этих характеристик неоднозначно. По одним факторам применение станков с ЧПУ дает выигрыш, по другим — нет, что зависит от характеристик изделий, станков и условий производства.

Точность обработки. Выигрыш по производительности на станках с ЧПУ во многом зависит от требуемой точности выполняемых операций. Когда требуемая точность обработки высока, станки с ЧПУ выигрывают по времени позиционирования (например, при координатно-расточных операциях $t_{x_2}^{ЧПУ} = 0,20-0,25$ мин, а $t_{x_2}^{РУ} = 1,5-2$ мин), что и определяет выигрыш по производительности, так как удельный вес времени позиционирования на станке с ЧПУ составляет около 15% от общего времени функционирования. Этот выигрыш особенно велик при обработке плоских деталей с большим количеством отверстий.

Если выполняются в основном операции сверления и требуемая точность мала, то универсальные станки могут работать по разметке, выполненной отдельно (на станке с ЧПУ или разметочной плите). Тогда время позиционирования на станках с РУ меньше, чем на станках с ЧПУ ($t_{x_2}^{ЧПУ} = 0,20-0,25$ мин, а $t_{x_2}^{РУ} = 0,15-0,20$ мин).

Проведенные исследования показали, что сравнение точности обработки на станках с ЧПУ и РУ с учетом только одной (локальной операции) неправомерно. Важно не только точное выполнение промежуточных допусков, а конечный итог технологического процесса по качеству готовых изделий. Например, на станке с ЧПУ

моделей 2М55Ф2 и универсальном станке модели 2М55 выполнялись параллельно сверлильно-расточные операции с последующим окончательным растачиванием на алмазно-расточном станке. После сверления и растачивания на станках с ЧПУ получена более высокая промежуточная точность обработки, однако после алмазного растачивания точность деталей, обработанных предварительно на станке с ЧПУ или универсальном станке, практически одинакова.

Режимы обработки. Проведенные исследования показали, что на станках с ЧПУ при обработке корпусных изделий преобладает тенденция осторожного занижения режимов при операциях сверления и растачивания (особенно при глубоком сверлении). Станки с ЧПУ проигрывают при сверлении глубоких отверстий также и из-за большого числа подводов и отводов сверла для удаления стружки. Например, при сверлении отверстий диаметром 4 мм и глубиной 56 мм около 40% из общего времени рабочих ходов составляли холостые быстрые подводы и отводы для удаления стружки и 14% — медленный подвод до врезания инструмента при рабочем ходе. В итоге только 46% времени затрачивается на чистое резание. На универсальном же станке чистое время резания составляет 68% от общего времени рабочих ходов при выполнении такой же операции.

Для анализа соотношения режимов резания на операциях контурного фрезерования были проведены исследования на Ферганском механическом заводе, где велась параллельно обработка одних и тех же деталей на универсальных станках и станках с ЧПУ. При фрезеровании плоскостей, а также ребер и окон в направлении, параллельном направляющим, режимы идентичны. Однако обработка криволинейных поверхностей на станках с РУ производится по разметке с очень низкой ручной подачей (30–80 мм/мин), в то время как на станках с ЧПУ эти участки проходятся с подачей 200–300 мм/мин, благодаря чему получается выигрыш во времени в 4–5 раз. Аналогичный выигрыш во времени на станках с ЧПУ получается и при обработке прямолинейных участков, не параллельных одной из направляющих. Кроме того, выигрыш во времени достигается и за счет переустановок.

Таким образом, применение станков с ЧПУ для одних видов обработки приводит к увеличению времени рабочих ходов до двух и более раз, а для других — к сокращению длительности до двух раз и более. Поэтому говорить о повсеместном повышении режимов и сокращении длительности рабочих ходов при переходе к обработке

на станках с ЧПУ непропорционально.

Время загрузки и съема изделий определяется типом приспособления и способом закрепления деталей. Если они идентичны на станках с ЧПУ и РУ, то время загрузки и съема одинаково. В последнее время у станков с ЧПУ получают широкое применение двойные столы, которые позволяют сократить несовмещенное время загрузки и съема изделий до 0,2-0,5 мин.

Время смены координат. Исследования показали, что несмотря на более низкие фактические скорости у станков с ЧПУ по сравнению с номинальными (теоретическими) именно по этой характеристике их внедрение обеспечивает наибольший выигрыш. Так, например, среднее время смены координат на координатно-расточных станках с РУ составляет 1,5-2 мин, а на станке с ЧПУ 0,2-0,25 мин.

Время смены инструмента. В первых конструкциях многооперационных станков оно составляло 0,7-1 мин, что значительно превышало среднее время при ручной замене. В настоящее время благодаря наличию в станках двухзахватных автооператоров и инструментальных магазинов с синхронным перемещением со шпинделем оно снижено до 0,15-0,3 мин.

На станках с РУ при замене крупногабаритных фрез, расточных резцов с затяжкой через шпиндель и др. время смены инструмента составляет 5-10 мин, а смена сверл в быстросменных патронах - не более 0,15-0,2 мин. Таким образом, при переходе к станкам с ЧПУ выигрыш по сокращению времени смены инструмента получается далеко не всегда.

Время переналадки у станков с ЧПУ включает замену приспособления, инструментов, перфоленки, а также обработку пробной детали и зависит от степени освоения станка, совершенства применяемых приспособлений, типа и сложности детали. Оно составляет в среднем 2,5-4 часа даже при отработанных программах, что значительно выше, чем у универсальных станков при обработке корпусных деталей.

Надежность является одним из основных факторов, влияющих на производительность. У исследованных моделей станков с ЧПУ среднее время собственных внецикловых потерь B_c (простой, происходящие на единицу времени безотказной работы) составляет 0,15-0,25, что значительно выше, чем у универсальных станков. Это связано с усложнением механизмов станка и систем управле-

ния, длительным временем обнаружения и устранения отказов.

Таким образом, выигрыш по вышеуказанным факторам производительности и сочетание их в конкретных случаях неодинаково (табл. I). Поэтому станки с ЧПУ могут иметь и более высокую, и более низкую производительность, чем универсальные станки в зависимости от обрабатываемых изделий и размеров партии. Например, при обработке на станках с ЧПУ деталей типа панелей с преобладанием сложных контурных операций производительность в 2-3 раза выше, чем на универсальных станках (за счет интенсификации режимов, сокращения числа переустановок, отсутствия пробных проходов и др.). В то же время при сверлильно-расточных операциях (глубокое сверление, растачивание и др.) исследованные станки с ЧПУ оказались менее производительными (примерно на 20-30%).

Четвертая глава диссертации посвящена оценке целесообразности применения некоторых конструктивно-компоновочных вариантов оборудования с ЧПУ. В работе рассмотрены следующие оценочные задачи:

1. Целесообразность создания станков с двойными столами.
2. Целесообразность создания станков-автоматов с круглосточной эксплуатацией взамен полуавтоматов.
3. Целесообразность создания переналаживаемых автоматических линий из станков с ЧПУ с концентрацией и дифференциацией технологического процесса.

Разработан общий метод сравнительной оценки и расчета эффективности различных вариантов оборудования с ЧПУ. Годовой экономический эффект Э определяется по формуле

$$\mathcal{E} = 0,32 \cdot K \cdot (\varphi - \zeta) + 3 \cdot (\varphi - 1/E) \text{ [руб]}, \quad (6)$$

где φ - коэффициент роста повышения производительности станков по сравнению с базовым вариантом; ζ - коэффициент роста стоимости; E - коэффициент уменьшения числа рабочих по фонду зарплаты; K - стоимость оборудования базового варианта; 3 - годовой фонд заработной платы обслуживающих рабочих. В качестве базового варианта приняты обычные многооперационные станки-полуавтоматы с ЧПУ.

Метод решения уравнения (6) заключается в том, что указанные показатели φ и ζ математически выражаются через факторы производительности t_p , t_x , B_c и другие. Далее рассматриваются

Таблица I

Факторный анализ производительности станков с ЧПУ и универсальных при обработке различных видов деталей

Тип детали	Модель станка	Сравнительные характеристики													Рост произ- води- тель- ности φ	
		обрабатываемой детали				технологического оборудования (станка)										
		t_{cp}	S	t_p	n	A	быстродействие				мобильность			надёж- ность		коэф. совм.
					t_{x_1}	t_{x_2}	t_{x_3}	t_{x_4}	$\theta_{пер_1}$	$\theta_{пер_2}$	$\theta_{пер}$	B	$\eta_{тех}$	k		
	6906BM02 2N55	-	=	-	=	+	-	-	+	-	-	-	-	-	=	0,7-0,9
	MA655CMH 6M12	+	+	+	+	=	+	+	-	+	+	-	-	-	=	1,7-2,9
	6906BM02 2B635	=	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+	-	-	=	1,1-2,6
	I75I03 I63	+	+	+	=	-	+	-	=	-	-	-	-	-	+	0,9-1,2

граничные задачи ($\Xi = 0$), а именно, рассчитываются значения роста производительности φ при создании новых конструкций и чрез них оценивается допустимое удорожание станков $\zeta_{\max}$.

1. Создание станков с двойным столом позволяет уменьшить время снятия и установки детали, что приводит к росту производительности, которая определяется по формуле

$$\varphi = \frac{T_{\text{уп}} \cdot (1 + B_c) + t_{x_1} + \Theta_{\text{пер}}/z}{(T_{\text{уп}} + t'_{x_1}) \cdot (1 + B_c) + \Theta_{\text{пер}}/z}, \quad (7)$$

где $T_{\text{уп}}$ - время работы по управляющей программе; t_{x_1} - время ручного снятия и установки детали; t'_{x_1} - время смены приспособлений (палеты). Рост производительности φ повышается с уменьшением длительности работы по управляющей программе. Например, $\varphi = 1,1$ достигается при $t_{x_1} = 10$ мин лишь тогда, когда $T_{\text{уп}} < 80$ мин, а при $t_{x_1} = 5$ мин - когда $T_{\text{уп}} < 40$ мин.

2. Создание станков-автоматов, которые могут работать в третьей смене автоматически без участия оператора в режиме "безлюдной технологии". Станок-автомат состоит из многооперационного станка с ЧПУ, оснащенного множественными приспособлениями (палетами), которые содержат запас заготовок, позволяющий работать целую смену без остановки, обрабатывая по очереди все заготовки, установленные в приспособлениях. Максимальное число приспособлений N_{Π} равно

$$N_{\Pi} = \frac{\Theta_{\text{см}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (8)$$

где $\Theta_{\text{см}}$ - сменное время; $T_{\text{ц}}$ - длительность рабочего цикла.

Рост производительности, получаемый благодаря автоматической работе в третьей смене, определяется по формуле

$$\varphi = 1 + 0,5 \cdot e^{-\frac{\Theta_{\text{см}}}{m_{\text{ср}}}} \cdot \left(1 + \frac{\Theta_{\text{см}}}{m_{\text{ср}}}\right), \quad (9)$$

где $m_{\text{ср}}$ - среднее время безотказной работы. Формула позволяет определять рост производительности станка-автомата при его работе в три смены (по сравнению с двухсменной работой) в зависимости от безотказности работы станка-автомата в третьей смене. При $m_{\text{ср}} \rightarrow \infty$ рост производительности φ равен 1,5, а при $m_{\text{ср}} \rightarrow 0$ он равен 1. Если $m_{\text{ср}} = 480$ мин, то согласно (9) $\varphi = 1,37$, а не 1,5.

Относительный рост стоимости ζ за счет оснащения станка

магазином палет равен

$$G = 1 + \Psi_1 \cdot \frac{\Theta_{CM}}{T_H} + \Psi_2, \quad (10)$$

где Ψ_1 - относительный рост стоимости одной позиции (палеты и секции транспортера); Ψ_2 - относительный рост стоимости привода транспортера, не зависящий от числа позиций.

Коэффициент сокращения живого труда

$$\varepsilon = \frac{1 + Z_H / Z_H}{\frac{k \cdot t_{всп}}{T_{уп}} + \frac{Z'_H}{Z_{оп}} \cdot \left(\frac{1}{Z'_H} + \frac{1}{2 \cdot Z_{\partial}} \right)}, \quad (11)$$

где Z_H и Z'_H - заработная плата наладчиков; $Z_{оп}$ - заработная плата операторов; $Z_{оп}$, $Z'_{оп}$, Z_H , Z'_H - число станков, обслуживаемых одним оператором и наладчиком; Z_{∂} - число станков, обслуживаемых одним дежурным наладчиком; $t_{всп}$ - время ручной загрузки и съема изделий; k - коэффициент, учитывающий переходы и несинхронность работы ($k = 1,3-1,5$).

В данном случае экономический эффект увеличивается с уменьшением времени $T_{уп}$, а также с увеличением времени безотказной работы. Подставляя в формулу (6) значения Ψ , G , ε из формул (9), (10) и (11), получим уравнение, связывающее между собой все технико-экономические параметры. Решая граничную задачу ($\varepsilon = 0$) можно, например, рассчитать при каких показателях безотказности $M_{ср}$ станет целесообразным создание таких автоматов.

3. Создание переналаживаемых автоматических линий (АЛ) из станков с ЧПУ с дифференциацией технологического процесса. Линия может состоять из отдельных модулей, включающих в себя, например, шесть агрегатных головок (две вертикальных и четыре горизонтальных). Каждая агрегатная головка имеет автономное движение по трем осям координат, что позволяет обеспечить выполнение любой технологической операции. Обрабатываемые изделия зажимаются и фиксируются в приспособлениях-спутниках (по два в каждом), которые перемещаются с одной рабочей позиции на другую шаговым транспортером.

При обработке сразу двух деталей с трех сторон производительность линии $Q_{ал}$, не разделенной на участки (при равномерной дифференциации операций и без учета переналадки), равна

$$Q_{\text{АЛ}} = \frac{2 \cdot 480}{(t_{p_0} / 3 \cdot q + t_x) \cdot (1 + 2 \cdot V_{\text{ин}} + V_{\text{об}} \cdot q)} \left[\frac{\text{шт}}{\text{см}} \right] \quad (12)$$

где t_{p_0} - общее время обработки; q - число позиций (модулей); $V_{\text{ин}}$ - простои по инструменту, приходящиеся на единицу времени бесперебойной работы; $V_{\text{об}}$ - соответственно потери по оборудованию; t_x - время холостых ходов.

При неравномерной дифференциации формула (12) примет вид

$$Q_{\text{АЛ}} = \frac{2 \cdot 480}{(t_{p_{\text{max}}} + t_x) \cdot (1 + 2 \cdot V_{\text{ин}} + V_{\text{об}} \cdot q)} \left[\frac{\text{шт}}{\text{см}} \right] \quad (13)$$

где $t_{p_{\text{max}}}$ - время рабочего хода на лимитирующей позиции.

Рост производительности φ АЛ по сравнению с q независимо работающих многооперационными станками-полуавтоматами равен

- при неравномерной дифференциации

$$\varphi = \frac{2 \cdot (t_p + \Sigma t_x) \cdot (1 + V_c)}{(t_{p_{\text{max}}} + t_x) \cdot (1 + 2 \cdot V_{\text{ин}} + V_{\text{об}} \cdot q) \cdot q}; \quad (14)$$

- при равномерной дифференциации

$$\varphi = \frac{2 \cdot (t_p + \Sigma t_x) \cdot (1 + V_c)}{(t_{p_0} / 3 \cdot q + t_x) \cdot (1 + 2 \cdot V_{\text{ин}} + V_{\text{об}} \cdot q) \cdot q}, \quad (15)$$

где $T_{\text{оц}} = (t_p + \Sigma t_x)$ - время цикла обработки на многооперационном станке, определяемое по формуле (1).

Формула роста стоимости АЛ из агрегатных модулей по сравнению с базовым вариантом - параллельно работающим q станкам с ЧПУ будет

$$\zeta = \frac{K_{\text{мод}} \cdot q + K_{\text{ТР}_1} + K_{\text{ТР}_2} \cdot q}{K_{\text{оц}} \cdot q}, \quad (16)$$

где $K_{\text{мод}}$ - стоимость агрегатного модуля одной позиции;

$K_{\text{ТР}_1}$ - стоимость транспортера установочно-съемной позиции;

$K_{\text{ТР}_2}$ - стоимость части транспортера, пропорциональная числу позиций; $K_{\text{оц}}$ - стоимость станка базового варианта.

Расчеты, проведенные для корпусной детали, обрабатываемой с трех сторон, показали, что при $q = 11$ дальнейшее увеличение числа позиций вызывает резкое уменьшение времени обработки на лимитирующих операциях $t_{p_{\text{max}}}$ до числа позиций $q = 23-24$, что приводит к повышению производительности. Дальнейшее увеличение

Q не приводит к заметному уменьшению времени лимитирующих операций. При теоретической равномерной дифференциации выигрыш по производительности очень большой, но с увеличением числа позиций рост производительности уменьшается, что связано с надежностью оборудования. Поэтому автоматические линии через каждые 9-10 позиций целесообразно делить на участки. Оптимальное число позиций составляет $Q_{\text{опт}} = 10-22$. Если дифференциация равномерная, то производительность повышается в 5,1 раза, а реально (при неравномерной дифференциации) - в 2,5 раза (при $Q = 18$).

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработанный поэлементный метод расчета и оценки производительности станков с ЧПУ позволяет определять целесообразные условия их эффективного использования с учетом специфики основных факторов, влияющих на производительность.

2. Важнейшим фактором эффективности внедрения станков с ЧПУ по сравнению с универсальными является повышение производительности, благодаря интенсификации технологических режимов и сокращению вспомогательного времени на замену обрабатываемых изделий и "смены координат". Реальный выигрыш по производительности зависит от вида обрабатываемых изделий и технологических операций, условий производства, характеристик оборудования по быстродействию, мобильности и надежности.

3. Производительность станков с ЧПУ в условиях серийного производства следует рассматривать как интегральную величину, характеризующую возможности оборудования при обработке всего комплекса изделий, закрепленных за данным оборудованием.

4. Параметры быстродействия станков с ЧПУ при обработке конкретных типов изделий (среднее время "смены координат", смены инструмента, переустановки и др.) являются статистически устойчивыми и могут быть использованы для оценки совершенства и перспективности различных конструктивных вариантов при их сравнении.

5. Применение станков с ЧПУ для глубокого сверления приводит к увеличению длительности рабочих ходов до двух и более раз, а для контурного фрезерования - к сокращению длительности в 2,5-3 раза.

6. Наибольший выигрыш по вспомогательному времени у стан-

ков с ЧПУ достигается за счет сокращения длительности "смены координат" (в 2-3 раза) и замены изделий при наличии двойных столов (до 15 раз).

7. Длительность переналадки у многооперационных станков с ЧПУ при обработке корпусных деталей составляет 2,5-3,5 часа, что в несколько раз выше, чем у универсальных станков.

8. Внедрение станков с ЧПУ, как правило, не дает выигрыша по всем факторам производительности, их производительность может быть как выше, так и ниже, чем у универсальных станков, что может быть рассчитано по разработанной методике.

9. Разработанные методы позволяют рассчитать ожидаемую производительность станков с ЧПУ на основе стендовых (лабораторных) исследований их характеристик, не прибегая к обработке деталей в производственных условиях.

10. Создание станков-автоматов с ЧПУ, которые могут работать в режиме "безлюдной технологии" (автоматически, без участия оператора в третьей смене), увеличивает при достигнутом уровне надежности суточную производительность в 1,2-1,3 раза. Такие станки выгодно применять при обработке корпусных деталей, требующих многочасовой обработки. Получаемый при этом выигрыш тем больше (до 1,5 раза), чем выше надежность станка.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Волчкевич Л.И., Сотволдиев А.Э. Расчет и анализ производительности станков с ЧПУ в условиях серийного производства. - В об.: Станки с ЧПУ, участки и автоматические линии на их основе: Тезисы доклада научно-технич. семинара МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, - М., 1980, - с. 70-72.

2. Волчкевич Л.И., Сотволдиев А.Э. Производительность станков с ЧПУ и тенденции их развития. - В об.: Проблемы управления автоматическим оборудованием и автоматическими линиями: Тезисы доклада научно-техн. конф. - Омск, 1980, - с. 8-12.

3. Волчкевич Л.И., Сотволдиев А.Э. Исследование факторов, влияющих на производительность станков с ЧПУ при обработке корпусных изделий. - В кн.: Автоматизация технол. процессов. Тула, ТПИ, 1981, с. 30-35.

4. Сотволдиев А.Э., Красов В.Б. Исследование производительности станков в условиях серийного производства. - В об.: Известия ВУЗов. Машиностроение, 1980, № 8, - с. 139-142.