

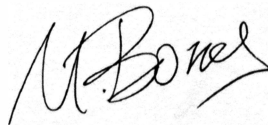
На правах рукописи

ВОЛЧКЕВИЧ Илья Леонидович

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ИЗ СТАНКОВ С ЧПУ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Специальность 05.02.08 – «Технология машиностроения»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



Москва

2013

21

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана»

Официальные оппоненты:

Вороненко Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», профессор

Утенков Михайлович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, заведующий кафедрой

Вартанов Михаил Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет «МАМИ», профессор

Ведущая организация:

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Защита состоится «24» апреля 2013 г. в 14 часов 30 минут в зале ученого совета на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по указанному адресу

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке МГТУ им. Н.Э.Баумана»

Телефон для справок: 8(499) 267-0963

Автореферат разослан «__» _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



Михайлов В.П.

24.04

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Модернизация отечественного машиностроения требует создания новых производств на инновационной основе, технического перевооружения существующих предприятий и, во многих случаях, их перепрофилирования и переспециализации. Основой современных машиностроительных производств являются технологические комплексы (ТК), целенаправленно объединяющие функционально взаимосвязанные средства технологического оснащения для выполнения в фиксированных условиях заданных технологических процессов. Реализация любого из указанных направлений модернизации связана с проектированием ТК, ключевой проблемой обеспечения которого является выбор необходимого оборудования, способного эффективно и рационально обеспечивать выполнение установленных программ выпуска изделий, как в близкой, так и в дальнесрочной перспективе.

Традиционно используемые методики выбора оборудования, как правило, отделены от формирования базовых технологических решений, используя в качестве исходных данные о суммарной трудоемкости выпуска изделий по различным видам работ. Выбор оборудования проводят, исходя из предположения, что действительный фонд времени его работы полностью расходуется на производство продукции. Результатами такого выбора в ТК изготовления деталей на станках с ЧПУ являются невыполнение производственных программ выпуска деталей плановой номенклатуры или низкая загрузка станков. Время производительной работы станка с ЧПУ в составе современного комплекса не превышает 25...50% от его действительного фонда времени.

Последнее является следствием:

- а) недостаточно обоснованных рекомендаций о рациональных областях применения станков с ЧПУ;
- б) отсутствия методик расчета необходимого количества станков с ЧПУ, учитывающих специфику их функционирования в составе комплексов и структуру соответствующих затрат времени функционирования;
- в) отсутствия достоверных данных о фактической работоспособности станков с ЧПУ.

Суммарное время производительной работы станков с ЧПУ в составе ТК в большинстве случаев сопоставимо с суммарным временем, затрачиваемым на отладку операций изготовления новых деталей.

Возникла актуальная потребность в создании методологии, объединяющей разработку маршрутных технологических процессов изготовления деталей и выбор необходимого оборудования проектируемого комплекса с учетом затрат времени на наладочные процессы, непрерывно сопровождающие изготовление.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2029755

Волчкевич И.П. Научно-мет.

-756

М Г Т У
ИМ. Н. Э. БАУМАНА
БИБЛИОТЕКА

Многономенклатурный характер современного машиностроительного производства и порождаемые при этом факторы внешней и внутренней неопределенности вызывают рассеяние технико-экономических показателей проектируемого комплекса. Влияние указанных факторов может быть снижено путем прогнозирования возможностей эволюции комплекса и учетом ее последствий при проектировании комплекса.

Сказанное определило направленность представленной работы на решение актуальной научной проблемы выбора оборудования проектируемых ТК из станков с ЧПУ в условиях производственной неопределенности, имеющей важное значение для машиностроения и экономики РФ.

Цель и задачи исследования

Целью работы является повышение качества решений при проектировании ТК из станков с ЧПУ в условиях производственной неопределенности.

Объект исследования: процесс формирования решений при проектировании ТК из станков с ЧПУ в условиях производственной неопределенности, в частности, при выборе оборудования.

Предметная область исследования – проектирование ТК изготовления деталей машин инвариантно их классам на станках с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства инвариантно типу последнего.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка методологии выбора оборудования проектируемых ТК из станков с ЧПУ в условиях производственной неопределенности.
2. Разработка методов оценки и исследование работоспособности комплексов из станков с ЧПУ с учетом наладочных процессов, сопровождающих изготовление детали.
3. Аprobация и практическая реализация предлагаемой методологии выбора оборудования проектируемых ТК из станков с ЧПУ.

Научная новизна: выявление закономерностей формирования решений, связанных с выбором оборудования проектируемых ТК из станков с ЧПУ с учетом фактической работоспособности оборудования и факторов производственной неопределенности.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в возможности использования ее результатов для:

1. выбора оборудования проектируемых ТК из станков с ЧПУ с учетом затрат времени на наладочные процессы, фактической работоспособности оборудования, специализации комплекса, факторов производственной неопределенности на предпроектном и проектном этапах разработки;
2. предварительной селекции номенклатуры деталей, планирующихся к изготовлению в проектируемом ТК;

3. определения оптимального количества деталей, изготавливаемых в комплексах между переналадками, обеспечивающего непрерывность механосборочного производства;

4. создания систем автоматизированного выбора оборудования при проектировании ТК.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Концептуальная модель выбора оборудования проектируемого ТК из станков с ЧПУ.

2. Методики выбора оборудования проектируемого ТК с учетом затрат времени на наладочные процессы, фактической работоспособности оборудования, специализации комплекса, факторов производственной неопределенности, предпроектного и проектного этапов разработки.

3. Доказанные факты наличия функциональной связи между временем наладок и временем циклов изготовления на станках с ЧПУ, а также между временами циклов изготовления на станках с ЧПУ и оперативными временами изготовления тех же деталей на универсальных станках.

4. Расчетные зависимости для определения оптимального количества деталей, изготавливаемых в комплексах между переналадками, обеспечивающего непрерывность механосборочного производства.

Апробация работы

Основные положения работы были доложены и получили одобрение на семи всероссийских и международных конференциях: Всероссийская научно-техническая конференция «Машиностроительные технологии», г. Москва, 2008 г.; Международная научно-техническая конференция «Автотракторостроение», г. Москва, 2009 г.; Международная научно-техническая конференция «Инновации в машиностроении», г. Минск, Белоруссия, 2010 г.; International workshop «Advanced composite materials and technologies for aerospace applications», Wrexham, United Kingdom, 2011.; Международная научно-техническая конференция «Автоматизация: проблемы, поиски, идеи, решения», г. Севастополь, Украина, 2011 г.; Международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь, Украина, 2010, 2011 г.г.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 27 научных работ, в том числе 16 статей в журналах, включенных в перечень ВАК.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, библиографического списка из 137 наименований и 5 приложений. Содержит 215 страниц текста, 56 рисунков, 38 таблиц, приложения на 46 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, раскрываются научная новизна и практическая ценность, дается краткий порядок ее выполнения, изложена структура работы.

В первой главе отражено состояние исследуемой проблемы, приведен аналитический обзор существующих подходов к выбору оборудования проектируемых ТК.

Проектирование ТК – сложный многоэтапный процесс, на каждом из этапов которого формируются и принимаются соответствующие проектные решения.

Главной и исключительно актуальной научной проблемой, связанной с проектированием ТК машиностроительного производства, является обеспечение качества как промежуточных проектных решений, так и результатов проектирования в соответствии с предъявляемыми в задании на проектирование требованиями и при минимизации затрат ресурсов различных видов на принятие и реализацию решений.

Ключевой проблемой при проектировании ТК является проблема выбора оборудования, включающая определение его состава (групп, типов, моделей) и количества для каждой из групп с учетом фактической работоспособности оборудования в условиях производственной неопределенности.

В существующей практике проектирования выбор оборудования ТК традиционно выполняют на базе методических подходов, характерных для технологического проектирования цехов механосборочного производства. Основные положения указанных подходов были сформулированы в трудах отечественных (Н.Ф. Чарновский, М.Е. Егоров, Г.Н. Мельников, В.П. Вороненко, А.И. Кондаков, Б.М. Базров и др.) и зарубежных ученых.

Анализ современных методик выбора оборудования проектируемых ТК машиностроения позволил выделить ряд недостатков:

1. Отсутствие единого методологического подхода к определению количества оборудования в технологии машиностроения, станкостроении и организации производства.

2. Отсутствие общей методики, включающей этапы разработки технологических процессов и выбора необходимого оборудования для проектируемого ТК.

3. Отсутствие методики, позволяющей учитывать при расчете необходимого количества оборудования все категории затрат времени работы ТК, включая затраты времени на наладочные процессы.

4. Отсутствие методики учета факторов производственной неопределенности при расчете необходимого количества оборудования проектируемых ТК.

Выявленные противоречия делают актуальной выработку единого методологического подхода.

Среди всего разнообразия задач создания ТК машиностроения наибольшее внимание промышленных предприятий и проектных институтов в настоящее время привлечено к созданию и определению областей рационального применения ТК из станков с ЧПУ. Появление станков с ЧПУ и ТК на их основе – процесс, социально и технически закономерный, по существу – революционный этап преобразования машиностроительного производства. Социальная и экономическая востребованность расширения использования станков с ЧПУ несомненна. Вместе с тем, до настоящего времени не определены:

- а) производственные условия эффективного использования ТК из станков с ЧПУ;
- б) методика проектирования ТК из станков с ЧПУ, обеспечивающая их эффективную эксплуатацию в составе комплекса.

Выполненные по указанным направлениям исследования немногочисленны, а их результаты не могут претендовать на исчерпывающее освещение поставленных проблем.

Проведенный автором анализ производственных материалов показал, что, с одной стороны, внедрение станков с ЧПУ и ТК на их основе расширяется, в том числе – по технологическому диапазону; с другой – решения об их применении принимаются на основе практического опыта и складывающейся конъюнктуры, с различными и не всегда приемлемыми результатами.

Опыт внедрения станков с ЧПУ на отечественных предприятиях показывает:

1. Программы выпуска деталей, закрепленных за цехами и участками станков с ЧПУ, во многих случаях не выполняются.
2. Отмечается низкая загрузка станков.

Отмеченное является неизбежным следствием ошибок, совершенных при проектировании ТК из станков с ЧПУ и планировании для них производственных программ. Причинами этих ошибок являются:

1. Отсутствие научно обоснованных рекомендаций о рациональных областях применения станков с ЧПУ;
2. Отсутствие методик расчета необходимого количества станков с ЧПУ, учитывающих специфику их функционирования в составе ТК и структуру затрат времени функционирования;
3. Отсутствие достоверных данных о фактической работоспособности станков с ЧПУ.

Исследования, проведенные автором на ряде ведущих предприятий, показали, что в условиях многономенклатурного, часто переналаживаемого, производства коэффициент экстенсивного использования оборудования с ЧПУ составляет от 0,3 до 0,5. Суммарное время работы оборудования сопоставимо с суммарным временем на отладку новых деталей, что характерно для ситуаций, когда на станках с ЧПУ изготавливают уникальные, сложные и высокоточные детали, объемы выпуска которых невелики.

Таким образом, создание ТК из станков с ЧПУ требует радикального пересмотра многих сложившихся канонов, разработки специальных методик и математического обеспечения. Прежде всего, потому, что в таких комплексах одними из ключевых являются вопросы отладки на новые детали и возвратных переналадок. Это диктуется серийным характером изготовления комплектов деталей с регламентацией поставки их на сборку, частым обновлением объектов производства. Необходимы математические модели взаимосвязи основных времен, частоты и длительности наладок и переналадок, масштабов комплектного выпуска продукции, надежности оборудования и его необходимого количества. Такие задачи до сих пор не ставились и не решались.

Постановка исследований работоспособности комплексов из станков с ЧПУ и реализация обратной связи – от эксплуатации на последующее проектирование, должны опираться, прежде всего, на формулировку задач и разработку методик указанных исследований, отсутствующих в настоящее время.

Многономенклатурный характер современного машиностроительного производства вызывает высокую неопределенность условий проектирования ТК. Если в момент утверждения технического задания на проектирование комплекса производственная программа может считаться известной, то за время эксплуатации, измеряемое годами, она может измениться существенно.

Так как выбор оборудования влияет практически на все параметры ТК, включая строительные и энергетические, возможные ошибки выбора приводят к существенным экономическим потерям. Таким образом, необходимость создания методики расчета необходимого количества оборудования ТК с учетом факторов неопределенности можно признать актуальной.

Методика учета факторов производственной неопределенности при проектировании ТК должна иметь своей целью получение диапазонов прогнозируемых выходных параметров работы ТК (производственных мощностей, выраженных в часах или количестве изготавливаемых изделий) в зависимости от диапазонов варьирования параметров самого ТК. В первую очередь – состава оборудования.

Основным направлением разрешения проблемы выбора оборудования проектируемых ТК является создание методологии, в которой взаимосвязано осуществляется проектирование маршрутных технологических процессов изготовления деталей и выбор оборудования проектируемого комплекса из станков с ЧПУ с учетом их фактической работоспособности и факторов производственной неопределенности. Сказанное делает тему представленного исследования актуальной.

Во второй главе приведена предлагаемая методология выбора оборудования проектируемых технологических комплексов из станков с ЧПУ в условиях производственной неопределенности.

Предлагаемая концепция выбора оборудования базируется на объединении этапов разработки маршрутных технологических процессов (МТП) изготовления

деталей для проектируемого комплекса и выбора оборудования с последующей корректировкой МТП в зависимости от полученных результатов выбора (рис. 1).

Маршрутные технологические процессы (блок А1, см. рис. 1) изготовления деталей для условий многономенклатурного производства чаще всего разрабатывают на основе процессов-аналогов, опыта разработчиков и директивной информации. Могут разрабатываться МТП для всех деталей, составляющих программу выпуска ТК, или МТП изготовления детали-представителя.

Так как в МТП наименования операций совпадают с наименованиями групп и типов оборудования, то информационный объект {МТП} (см. рис. 1) может быть представлен двумя матрицами:

1. Матрица групп-типов оборудования (C_{2m}):

$$C_{2m} = [(C_{2m})_{i,j}]; i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J, \quad (1)$$

где i – порядковый номер детали в номенклатурном списке; I – число деталей в номенклатурном списке; j – порядковый номер операции в МТП; J – наибольшее число операций среди разработанных МТП.

2. Матрица ориентировочных значений штучно-калькуляционных времен (t_{w-k}):

$$t_{w-k} = [(t_{w-k})_{i,j}]. \quad (2)$$

Содержание матриц (1), (2) является исходными данными для определения состава и количества оборудования проектируемого ТК (блоки А2, А3, см. рис. 1).

Предварительно определенные состав и количество оборудования проектируемого ТК оценивают (блок А4, см. рис. 1). Оценку выполняют как по частным (достаточность технологических возможностей, параметров рабочего пространства и т. д.), так и общим (достаточность количества оборудования для обеспечения программы выпуска, соответствие отпущенным средствам на реализацию ТК и др.) критериям. В случае неудовлетворительных результатов оценивания принимается решение о корректировке МТП, что наиболее вероятно в двух случаях:

- а) количество и возможности оборудования недостаточны для обеспечения заданной программы выпуска деталей;
- б) ожидается недопустимо низкая загрузка оборудования проектируемого ТК.

Если доказана возможность выполнения заданной программы выпуска деталей, то определяют основные (отдельные) параметры проектируемого ТК (необходимые площади, численность персонала и т.д.), после чего осуществляют проверку соответствия рассчитанных параметров наложенным ограничениям. Если все ограничения выполняются, состав и количество оборудования

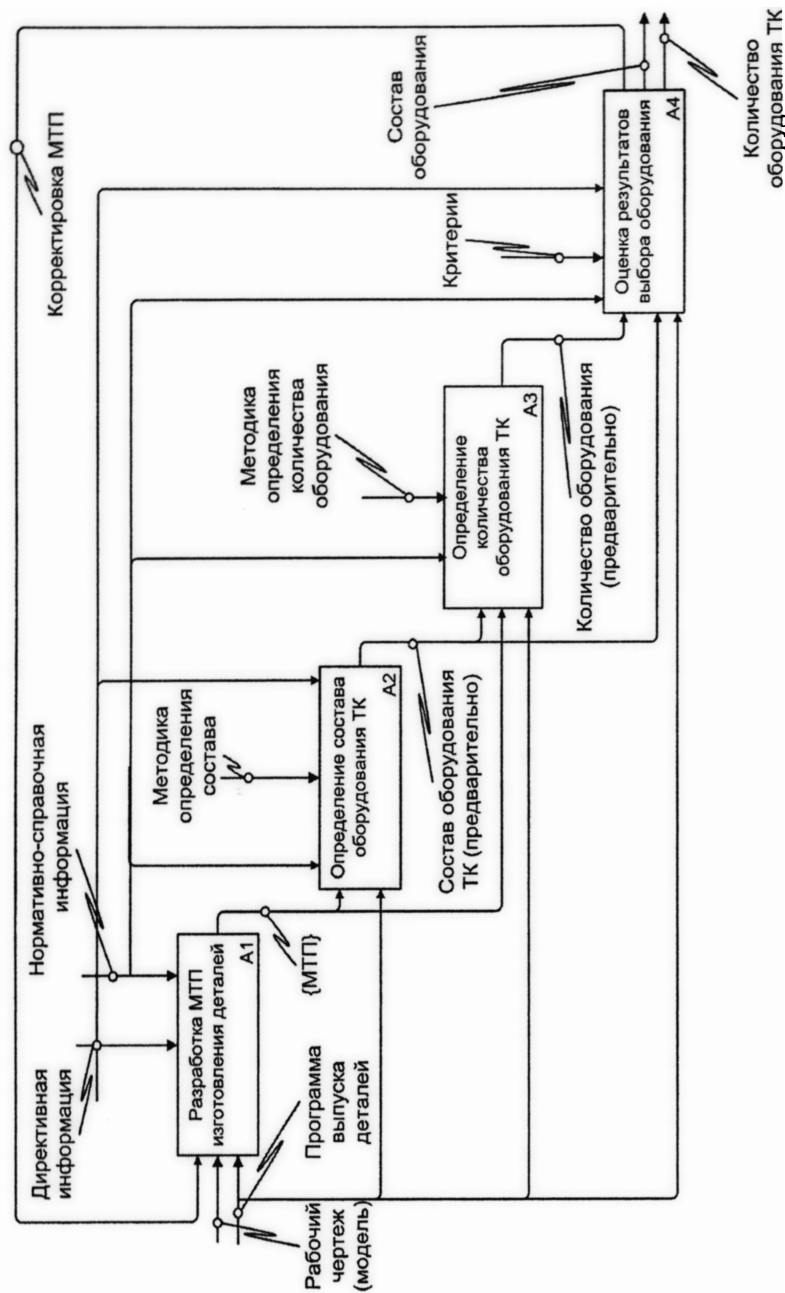


Рис. 1. Предлагаемая концептуальная модель выбора оборудования проектируемого ТК (фигурными скобками обозначены множества)

утверждают. Если же ограничения не выполнены и невыполнение их недопустимо, то корректируют технологические решения:

- а) при предметной специализации ТК корректируют МТП (состав и структуру);
- б) при технологической специализации – изменяют группы и типы применяемого оборудования.

Корректировка МТП может включать:

1. Выбор других типов оборудования на некоторых операциях при сохранении общего их числа и последовательности. Этот вариант применим, если при расчете получено явно завышенное количество оборудования. Точных численных величин, ограничивающих максимально возможное количество параллельно работающего оборудования на отдельной операции, в нормативной и научно-технической литературе не приведено. Тем не менее, как показывает опыт, при получении на участках с предметной специализацией расчетных количеств оборудования, исчисляемых десятками, ограничения практически никогда не выполняются. В данном случае должно быть принято решение о применении на рассматриваемой операции другого типа оборудования, более производительного.
2. Концентрацию технологических операций. Применяется, если необходимо уменьшить производственную площадь, количество рабочих, общее число операций по каким-либо другим причинам, а также при наличии явно недогруженного оборудования на операциях, содержание которых допускает их объединение в одну.
3. Дифференциацию операций. Применяется при необходимости повышении производительности ТК по критерию цикла выдачи единицы продукции. Может быть необходима в случаях перегрузки оборудования на какой-либо из операций.
4. Вывод части технологических воздействий за рамки проектируемого ТК. Например, организация участка с технологической специализацией или выделение участков финишной обработки. Может происходить как по причине невыполнения ограничений по занимаемой площади (слишком большое необходимое количество оборудования на ряде операций), так и в силу специфики работы определенных типов оборудования.

Если корректировка технологических решений (в частности – МТП) не принесла желаемых результатов – корректируют исходные данные.

На основе концептуальной модели (см. рис. 1) разработана общая последовательность выбора оборудования проектируемых ТК, практически инвариантная специализации комплекса (рис. 2), включающая описанные проектные процедуры.

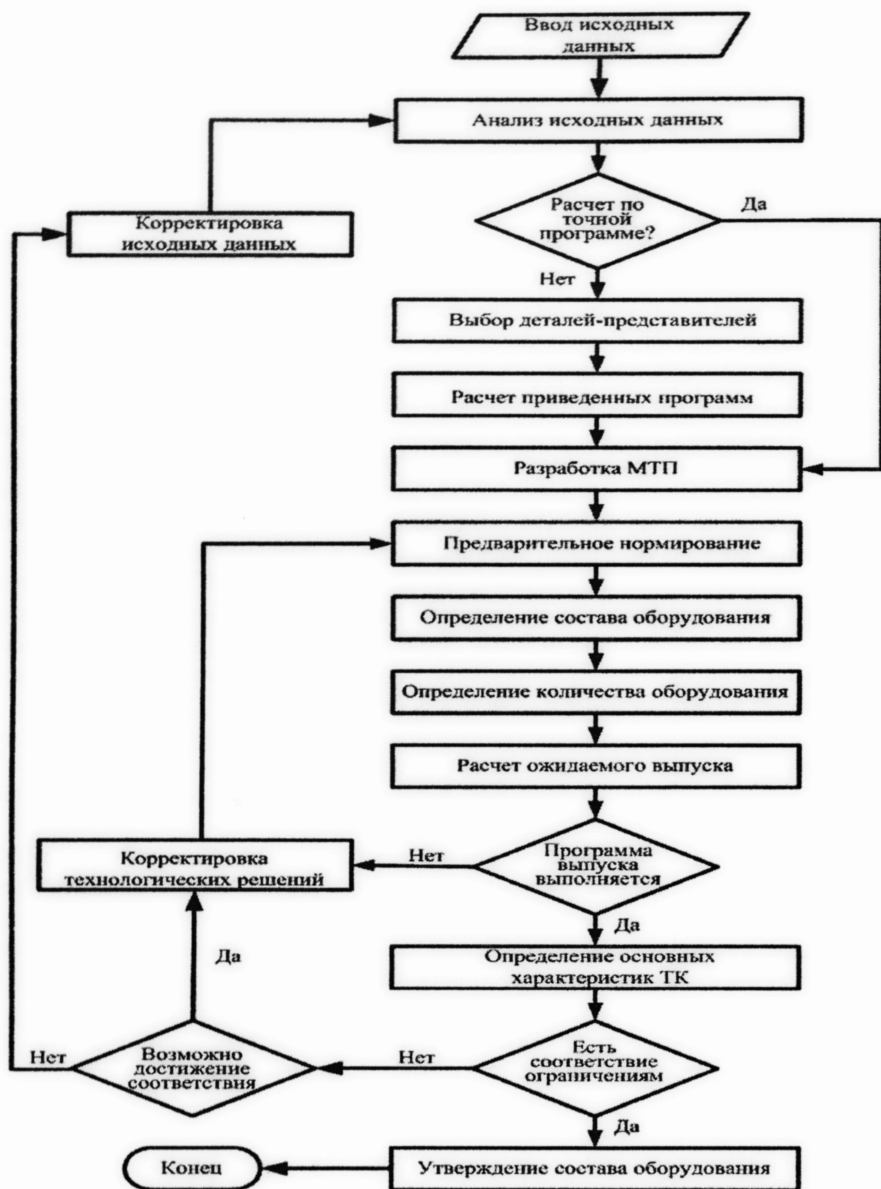


Рис. 2. Общая последовательность выбора оборудования проектируемых ТК

После корректировки технологических решений (рис. 2) этапы нормирования, расчета необходимого количества оборудования, поверочных расчетов и анализа соответствия ограничениям повторяются. Результатом будет утверждение состава оборудования проектируемого ТК или принятие решения о корректировке исходных данных.

Для расчета необходимого количества оборудования в условиях многономенклатурного производства в работе предложена методика, в основе которой лежит понятие функциональных состояний оборудования. За достаточно протяженный период любой из станков в составе ТК в рамках планового, например – годового, действительного фонда времени ($\Phi_{до}$) будет периодически находиться в одном из состояний затрат календарного времени $\sum \theta_i$:

1. Функционирования ($\sum \theta_1$), с изготовлением на станке закрепленного комплекта деталей; периоды бесперебойной работы неизбежно чередуются со случайными простоями технического и организационного характера.
2. Первичных наладок ($\sum \theta_2$) на изготовление нового комплекта деталей, которые ранее не изготавливались.
3. «Возвратных» переналадок ($\sum \theta_3$) в пределах сроков выпуска конкретного изготавливаемого комплекта.
4. «Аварийных прогонов» ($\sum \theta_4$), повторного изготовления тех деталей, которые были признаны непригодными при сборке или сдаче.

На рис. 3 представлена декомпозиция действительного фонда времени оборудования на основе его функциональных состояний.

Каждое из функциональных состояний характеризуется затратами времени, которые в сумме составляют действительный фонд времени работы оборудования.

Для каждой группы-типа оборудования, применяемого в ТК с технологической специализацией, предложено основное уравнение баланса затрат времени:

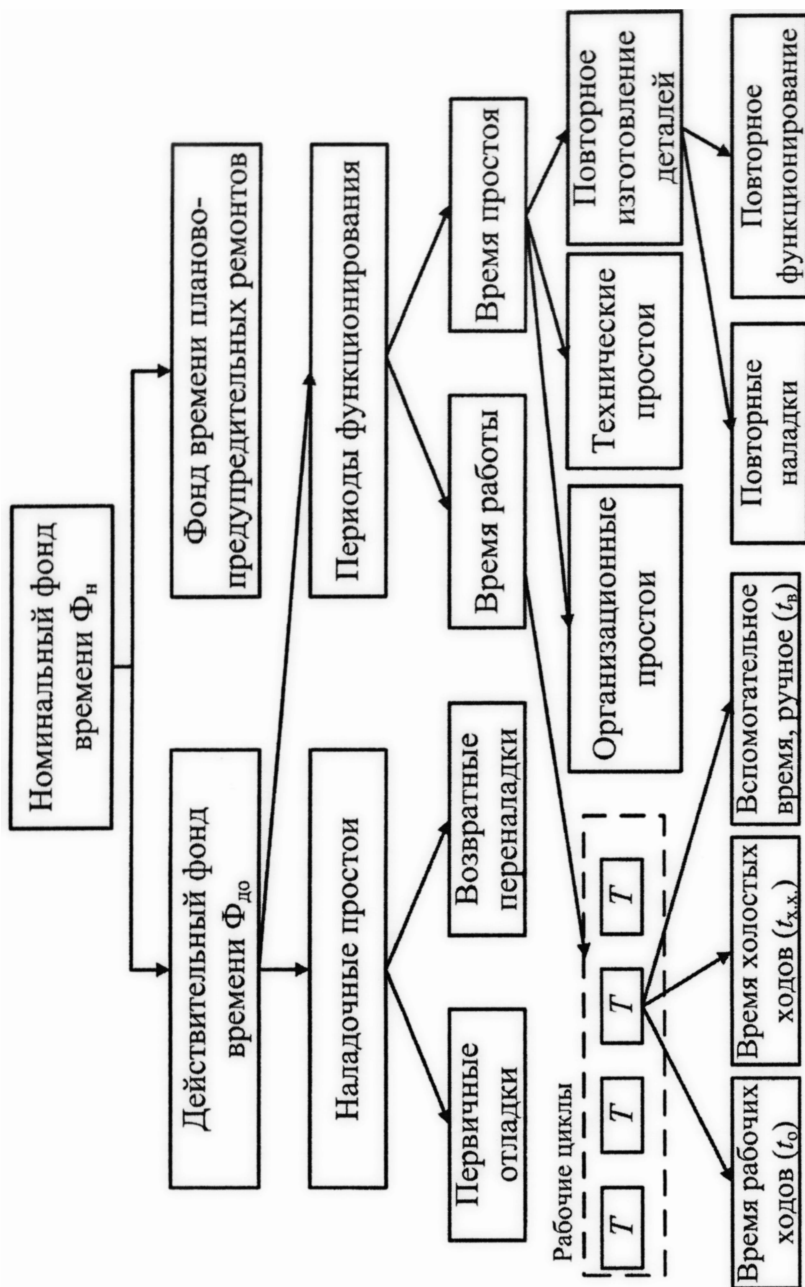
$$\sum \theta_1 + \sum \theta_2 + \sum \theta_3 + \sum \theta_4 = C'_p \cdot \Phi_{до}, \quad (3)$$

где $\sum \theta_1, \sum \theta_2, \sum \theta_3, \sum \theta_4$ - составляющие баланса затрат времени (см. рис. 3); $\Phi_{до}$ - действительный фонд времени оборудования; C'_p - расчетное количество станков.

Сумма времен по всем составляющим баланса определяет необходимый фонд времени, кратный расчетному количеству станков.

Выражая из (3) C'_p , получили:

$$C'_p = \frac{\sum \theta_1 + \sum \theta_2 + \sum \theta_3 + \sum \theta_4}{\Phi_{до}} \quad (4)$$



В условиях малономенклатурного редко переналаживаемого производства организация изготовления будет другой. Партия заготовок последовательно проходит ряд операций, определенных МТП. На каждой из операций могут параллельно использоваться несколько единиц оборудования. Необходимые времена обработки и аварийных прогонов будут делиться между параллельно работающими станками, в первом приближении – поровну. Времена же первичных отладок и возвратных переналадок останутся неизменными, без разделения на количество параллельно работающих станков. Для данного случая основное уравнение баланса затрат времени:

$$\Phi_{до} = \frac{\sum \theta_1}{C'_p} + \sum \theta_2 + \sum \theta_3 + \frac{\sum \theta_4}{C'_p}. \quad (5)$$

Откуда:

$$C'_p = \frac{\sum \theta_1 + \sum \theta_4}{\Phi_{до} - (\sum \theta_2 + \sum \theta_3)}. \quad (6)$$

Составляющие затрат времени станков ТК в (3) раскрыты через определяющие параметры, прежде всего – основные времена t_{oi} для всех m различных деталей «изделия-представителя», планируемых для изготовления в проектируемом ТК. Величины t_{oi} на данном этапе считали известными, равно как и объем годового выпуска изделий $Z_{год}$. Для укрупненных расчетов введены коэффициенты пропорциональности между основными затратами времени:

- а) $K_1 = T/t_o$ – коэффициент соотношения времени рабочего цикла T , как интервала поштучной выдачи деталей при бесперебойной работе станка, и основного времени t_o . Этот коэффициент учитывает несовмещенные вспомогательные действия (загрузку-выгрузку, выверку деталей, подводы, отводы и смены инструментов, холостые хода в рамках траекторий, операционный контроль и т.д.);
- б) $K_2 = \theta_{отл}/T$ – коэффициент пропорциональности между временем первичной наладки (отладки) станка на изготовление детали, которая на данном станке ранее не изготавливалась, и временем рабочего цикла;
- в) $K_3 = \theta_{пер}/T$ – коэффициент пропорциональности между временем единичной переналадки станка на заготовку, которая ранее уже обрабатывалась («возвратная переналадка») и временем рабочего цикла.

Выражая составляющие времени для конкретных станков ТК через параметры, как заданные (t_{oi} , $Z_{год}$), так и вновь принятые (K_1 , K_2 , K_3), получили:

$$\sum \theta_1 = \sum_1^m T_i \cdot Z_{год} \cdot \frac{1}{\eta_{ис}}, \quad (7)$$

$$\sum \theta_2 = \sum_1^m t_{oi} \cdot K_1 \cdot K_2 = \sum_1^m T_i \cdot K_2. \quad (8)$$

$$\sum \theta_3 = \sum_1^m T_i \cdot K_3 \cdot n. \quad (9)$$

$$\sum \theta_4 = \sum_1^q (T_i \cdot K_3 + \frac{T_i}{\eta_{ис}}) \cdot \alpha \cdot Z_{год} = \sum_1^q T_i (K_3 + \frac{1}{\eta_{ис}}) \cdot \alpha \cdot Z_{год}, \quad (10)$$

где $\eta_{ис}$ - коэффициент использования времени межналадочных периодов, n - планируемое число возвратных переналадок за расчетный период времени; α - прогнозируемая доля брака.

Далее все найденные значения составляющих затрат времени подставляются в формулу (4) или (6).

На предпроектных этапах, целью которых является обоснование целесообразности разработки проекта ТК, достоверные данные, необходимые для расчета по (4) или (6) отсутствуют. Тем не менее, задачу оценки количества оборудования, хотя бы в первом приближении, решать необходимо. С этой целью предложена другая методика определения количества оборудования, использующая меньшее число исходных данных, что, в условиях малой их достоверности, снижает уровень ошибки расчетов. Методика основана на представлении затрат времени работы оборудования в долях от фонда времени работы одного станка.

Величиной, связывающей долю времени работы станка $\sum \theta_p$ в общем фонде времени $\Phi_{до}$ (см. рис. 3), является коэффициент экстенсивного использования оборудования ($K_{эи} = \frac{\sum \theta_p}{\Phi_{до}}$). Используя эту величину, можно рассчитать остаточный фонд работы одной единицы оборудования ($\Phi_{ост}$):

$$\Phi_{ост} = \Phi_{до} \cdot K_{эи}. \quad (11)$$

Необходимое количество оборудования рассчитано, как:

$$C'_p = \frac{\sum T_i}{\Phi_{ост}} = \frac{\sum T_i}{\Phi_{до} \cdot K_{эи}}. \quad (12)$$

Учет факторов неопределенности реализован созданием методики, позволяющей определять значения искомых величин, как при проектных расчетах (необходимое количество оборудования), так и при поверочных (достижимая программа выпуска при заданном составе оборудования ТК) в виде интервалов.

Возможны два основных пути получения значений величин в виде интервалов:

1. Прогностический расчет с определением математического ожидания, доверительного интервала и дисперсии значений искомой величины;
2. Расчет минимальных и максимальных предельных значений величины, исходя из интервалов варьирования исходных данных.

При проектировании ТК второй путь предпочтителен, как с точки зрения минимизации и упрощения вычислений, так и вследствие большего удобства использования полученных результатов на практике.

Предлагаемую методику расчетов иллюстрирует рис. 4. На нем представлены зависимости расчетных значений производственных программ (выраженных для определенного типа оборудования через станкоемкость T_c), от количества оборудования данного типа (C'_p), при различных уровнях внутренней неопределенности. Внутренняя неопределенность задается через различные значения коэффициента экстенсивного использования оборудования ($K_{эи}$).

При наличии неопределенностей существует интервал прогнозируемых значений трудоемкости программы выпуска ($T_{cmin}, \dots, T_{cmax}$), симметричный относительно номинального значения, что соответствует двум различным зависимостям достигаемой станкоемкости от количества оборудования, определяемым значениями $K_{эиmin}$ и $K_{эиmax}$.

В соответствии с рис. 4:

$$C'_{pmin} = \frac{T_{cmin}}{\Phi_{до} \cdot K_{эиmax}}, \quad (13)$$

$$C'_{pmax} = \frac{T_{cmax}}{\Phi_{до} \cdot K_{эиmin}}. \quad (14)$$

Полученный интервал возможных значений количества оборудования ($C'_{pmin} \dots C'_{pmax}$) является исходным для принятия решения, результат которого – выбор того количества, которое будет заложено в проект ТК, и стратегии резервирования. Выбор минимального количества (C'_{pmin}) может привести к невыполнению производственной программы, а выбор максимального (C'_{pmax}) – к малой загрузке и существенным простоям оборудования.

Для определения оптимального количества возвратных переналадок в рамках годовой программы выпуска проектируемого ТК предложена методика расчета оптимальных размеров партий деталей по критериям полного обеспечения потребностей сборки и минимизации запасов. Сущность предлагаемой методики иллюстрирует рис. 5.

Показано, что, как для участков с технологической специализацией, так и для предметно-специализированных, оптимальное количество комплектов деталей, изготавливаемых между переналадками, вычисляется по формуле:

$$N' = \frac{m}{Z_{пр}} \cdot \frac{K_{з пр}}{\frac{t_{дсб}}{T_{пр} \cdot Z_{пр}} - \frac{1}{\eta_{ис пр}}}, \quad (15)$$

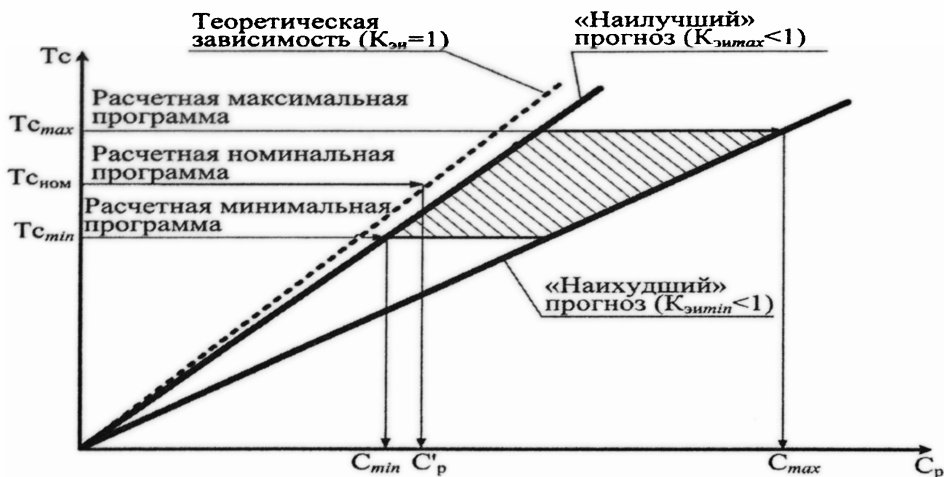


Рис. 4. К расчету минимального и максимального количества оборудования ТК:
 T_c - станкочасовая стоимость заданной производственной программы; C - количество оборудования данного типа; $K_{эи}$ - коэффициент экстенсивного использования оборудования

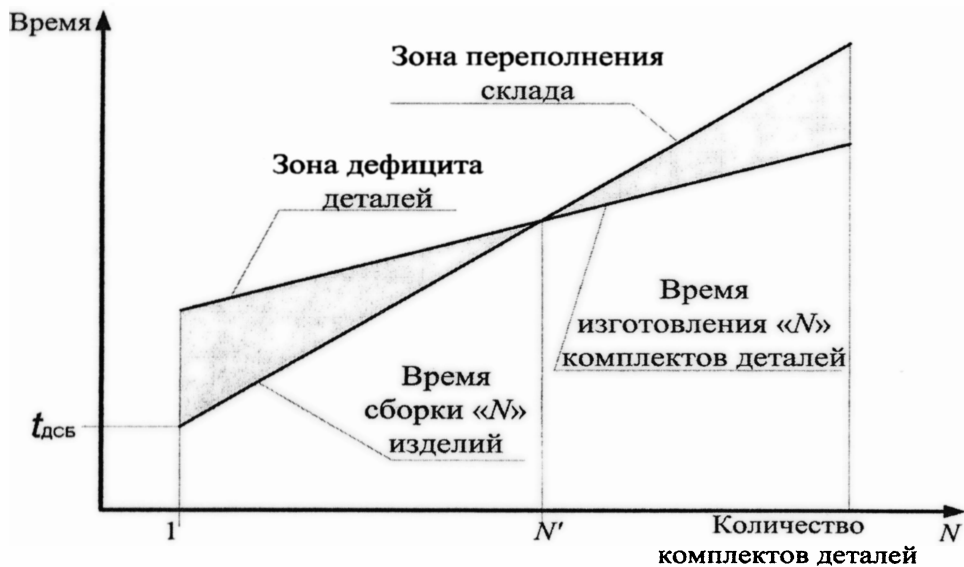


Рис. 5. К определению оптимального количества комплектов деталей (N'), изготавливаемых между переналадками

где $t_{дсб}$ - действительный такт выпуска при сборке изделия-представителя. Индекс «пр» в формуле (15) относится к детали-представителю проектируемого ТК.

Выбор оборудования ТК и оценивание его результатов являются многокритериальными задачами, не сводимыми к единственному критерию. Наиболее рациональным путем решения этих задач является сравнительный анализ, использование критериев предпочтения и проведение расчетов, подтверждающих преимущество того или иного варианта.

В частности, в условиях переналаживаемого многономенклатурного производства, когда значимым является время исполнения заказа или поставки комплекта деталей на сборку, для сравнения вариантов предложено использовать расчет цикла изготовления партии деталей. В работе приведен сравнительный анализ времен циклов изготовления деталей на станке с ЧПУ, последовательности универсальных станков и автоматической линии. Показано, что, в соответствии с данным критерием время изготовления партии деталей на станке с ЧПУ становится меньшим, чем время обработки той же партии на последовательности универсальных станков, при размерах партии, не превышающих 25 деталей.

Это означает, что, с точки зрения производительности обработки, применение станков с ЧПУ оправдано в условиях многономенклатурного, часто переналаживаемого производства, даже с учетом значительного времени, затрачиваемого на отладку процесса изготовления. С учетом различия в стоимости минуты эксплуатации (коэффициента машино-часа) универсальных станков и станка с ЧПУ, область рационального применения последних начинается примерно с программы в 100 деталей.

Время цикла изготовления партии на АЛ становится меньшим, чем время цикла изготовления той же партии на станке с ЧПУ при программах, превышающих 150...200 деталей. Однако, это справедливо лишь в том случае, если наладка АЛ на новую деталь или группу деталей проводится без изменения структуры линии и ее конструкции. В противном случае время, необходимое для отладки, будет значительно большим. Конкурировать со станками с ЧПУ в условиях переналаживаемого производства могут только переналаживаемые автоматические линии. С учетом различия в стоимости станка с ЧПУ и ПАЛ, на сегодняшний день достигающей десятков раз, область рационального применения ПАЛ начинается с программ выпуска в несколько тысяч деталей.

В третьей главе приведены результаты исследований фактической работоспособности станков с ЧПУ в составе технологических комплексов. Особенностью ТК, как предмета исследования, является невозможность проведения активного эксперимента. Выполненные исследования базируются на результатах производственных наблюдений за функционированием действующих ТК изготовления деталей в различных отраслях машиностроения. При проведении исследований использовали стандартные методики статистической обработки данных.

Проведенные исследования использовали для решения трех групп задач:

1. Доказательства выдвинутых (см. гл. 2) гипотез о наличии значимой статистической взаимосвязи между случайными величинами.
2. Получения численных значений параметров случайных величин, используемых в расчетах по разработанным математическим моделям.
3. Получения статистических данных, характеризующих соотношения между составляющими затрат времени работы оборудования в рамках его действительного фонда времени.

Для получения всей необходимой информации применяли два метода. Первый метод – анализ «цеховой информации» (данных, фиксируемых системами учета предприятий, имеющихся в технологической документации или автоматически фиксируемых самим технологическим оборудованием). Это данные: о фактическом выпуске продукции за исследуемый период времени; о нормах времени, полученные на предприятии методом хронометража и отраженные в технологической документации; о фактических временах процессов отладок изготовления деталей, записанные в актах по отладке деталей; о количестве пробных, («первых») деталей, использовавшихся при отладке (указано в актах о списании пробных деталей); «счетчиков» времен, являющихся частью функций, выполняемых устройствами ЧПУ станков. Недостатком использования «цеховой информации» при анализе фактической работоспособности оборудования является ее неполный характер. В связи с этим, для решения поставленных задач исследований, необходимо проведение исследований специальных, направленных на получение данных, не содержащихся в «цеховой информации». Разработана комплексная методика исследований, учитывающая специфику работы станков с ЧПУ и включающая в себя как анализ «цеховой информации» (включая сведения о составе оборудования и производственной программе цеха), так и специально организованный мониторинг составляющих фонда времени работы оборудования ТК.

При исследовании коэффициентов экстенсивного использования оборудования ($K_{эи}$) применяли два метода получения исходных данных: фиксация показаний счетчиков устройств ЧПУ и фотографии рабочего дня. Пример полученной диаграммы распределения затрат фонда времени работы оборудования приведен на рис. 6.

Итоговые значения математического ожидания коэффициента экстенсивного использования оборудования для разных предприятий представлены в табл. 1.

При определении и исследовании коэффициентов сокращения оперативного времени при переводе изготовления деталей на станки с ЧПУ сопоставляли данные по оперативным временам изготовления деталей на станках с ЧПУ с суммами оперативных времен замещающих операций, проводившихся для тех же деталей на универсальном оборудовании. Значения математического ожидания

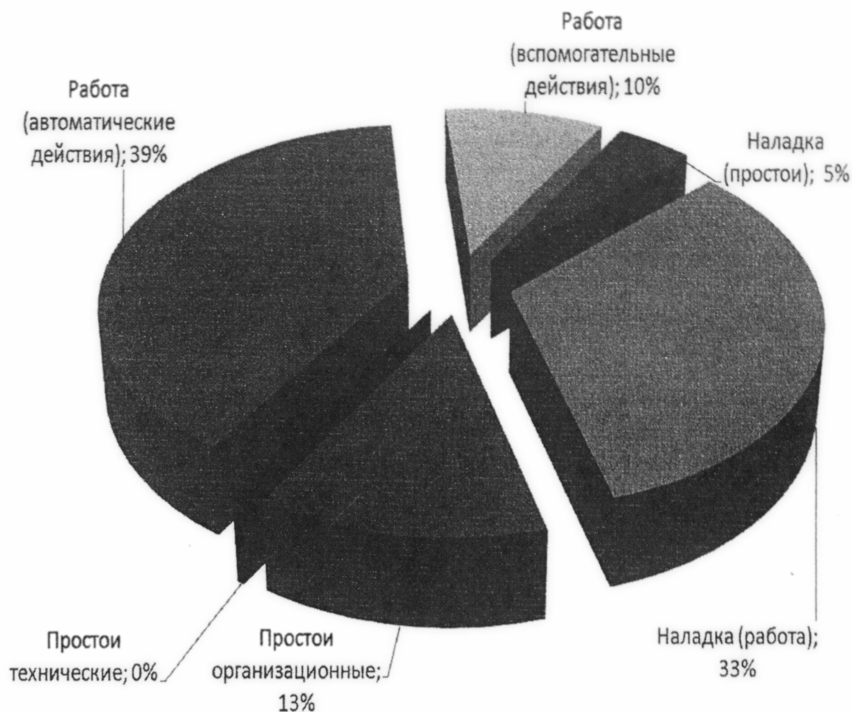


Рис. 6. Диаграмма распределения затрат времени работы оборудования цеха 400 ЗЭМ РКК «Энергия»

Таблица 1.
Значения математического ожидания коэффициента экстенсивного использования ($\overline{K_{эи}}$) оборудования для разных предприятий

№	Наименование предприятия, подразделение	Группа и тип оборудования		$\overline{K_{эи}}$
		Токарные станки с ЧПУ	Фрезерные станки с ЧПУ	
1	ЗЭМ РКК «Энергия», цех 400	0,4	0,37	0,38
2	Раменский приборостроительный завод, цех 2	0,23	0,34	0,33
3	НПО «Сатурн», по пяти цехам			0,34
4	ОАО «Солдрим-мск»	0,33	0,36	0,345

коэффициентов сокращения оперативного времени ($\overline{K_{пр}}$) вычислялись на основе полученных выборок и составили:

- а) для токарных станков с ЧПУ $\overline{K_{пр}} = 4,13$ с доверительным интервалом 0,31 при уровне значимости 0,05;
- б) для фрезерных станков с ЧПУ $\overline{K_{пр}} = 4,3$ с доверительным интервалом 0,35 при уровне значимости 0,05.

При определении и исследовании коэффициентов пропорциональности между основным временем и временем цикла обработки на станке с ЧПУ (K_1) учтено, что специфика работ станка с ЧПУ определяет наличие трех составляющих времени цикла выдачи готовых деталей:

- а) время рабочих ходов, выполняемых автоматически, характеризуемое величиной основного времени ($t_p = t_o$);
- б) время холостых ходов и вспомогательных действий, выполняемых станком автоматически;
- в) время вспомогательных действий, выполняемых оператором вручную.

Последние две составляют вспомогательное время в рамках цикла выдачи готовой детали. Предложено разделение коэффициента K_1 на две составляющих:

- а) коэффициент $K_{авт}$, характеризующий долю времени работы станка по программе в общем времени цикла выдачи готовой детали;
- б) коэффициент $K_{хх}$, характеризующий долю времени вспомогательных действий, выполняемых станком автоматически, в общем времени работы станка по программе.

Связь между коэффициентами:

$$K_1 = 1 / (K_{авт} \cdot K_{хх}). \quad (16)$$

Каждую из составляющих коэффициента K_1 , таким образом, можно определить: коэффициент $K_{авт}$ – наблюдением за работой станка с фиксацией времен работы станка по программе и времен выполнения вспомогательных действий вручную; коэффициент $K_{хх}$ – анализом данных счетчиков устройств ЧПУ.

Анализ значений коэффициента $K_{авт}$, полученных при исследовании затрат времени при обработке партий различных деталей на токарных и фрезерных станках с ЧПУ, дал следующие значения оценок величины математического ожидания:

- а) для фрезерных станков с ЧПУ $\overline{K_{авт}} = 0,61$ с доверительным интервалом 0,03 при уровне значимости 0,05;
- б) для токарных станков с ЧПУ $\overline{K_{авт}} = 0,6$ с доверительным интервалом 0,03 при уровне значимости 0,05.

Анализом данных счетчиков устройств ЧПУ получено математическое ожидание величины $\overline{K_{хх}} = 0,86$ с доверительным интервалом 0,04 при уровне значимости 0,05. Значение доверительного интервала свидетельствует о высокой

стабильности данного коэффициента при анализе затрат времени работы разных станков, то есть, о хорошей воспроизводимости данного результата. Значение математического ожидания свидетельствует о высокой доле основного времени в цикле работы станка по программе, характерной как для фрезерного, так и для токарного оборудования с ЧПУ.

При найденных значениях $\overline{K_{авт}}$ и $\overline{K_{хх}}$, получим:

$$K_1 = 1/(\overline{K_{авт}} \cdot \overline{K_{хх}}) = 1/(0,6 \cdot 0,86) = 1,94.$$

Коэффициенты пропорциональности между временем первичной отладки и временем цикла обработки на станке с ЧПУ (K_2 , см. гл. 2) определяли по результатам исследований, проведенных в цехе 400 ЗЭМ РКК «Энергия». Для вычисления K_2 необходимы два вида данных:

- а) величины времен цикла выдачи деталей со станка;
- б) величины времен, затраченных на первичную отладку процессов изготовления тех же деталей.

Оба вида данных присутствуют в цеховой информации.

Статистическая обработка распределений дала следующие значения математических ожиданий величины коэффициента K_2 :

для токарных станков с ЧПУ $\overline{K_2} = 19,4$ с доверительным интервалом 2,5 при уровне значимости 0,1;

для фрезерных станков с ЧПУ $\overline{K_2} = 6,7$ с доверительным интервалом 1,25 при уровне значимости 0,1.

Расчеты показали статистическую достоверность полученных значений оценок математического ожидания коэффициента K_2 для обоих типов оборудования. Вместе с тем полученные значения оценок существенно различны по типам оборудования. Использование среднего коэффициента может быть оправдано только в случаях, когда типы оборудования точно еще не выбраны.

В четвертой главе изложена общая последовательность формирования решений при выборе оборудования проектируемых ТК из станков с ЧПУ. Приведены примеры реализации предложенной методологии при проектировании ТК с предметной и технологической специализацией. Предложены пути повышения фактической работоспособности ТК из станков с ЧПУ.

Формирование проектных решений целесообразно начинать с систематизации исходных данных, включающей: выбор типового изделия-представителя по заданной в техническом задании на проектирование ТК номенклатуре продукции; уточнение объемов выпуска по каждому изделию, сроков поставки партий изделий; подбор необходимых нормативных данных и рекомендуемых значений других определяющих параметров.

В результате разработки МТП изготовления деталей (либо всех деталей номенклатуры, предполагаемой к выпуску, либо деталей-представителей) становятся определенными матрицы групп-типов оборудования ($C_{гт}$).

При традиционном подходе выбор детали-представителя для проектирования ТК зачастую субъективен. Наличие полностью определенной матрицы $C_{гт}$ позволяет выбрать деталь-представитель на основе аппарата технологического подобия.

Пусть матрица $C_{гт}$ определена в форме:

$$C_{гт} = [(C_{гт})_{i,j}]; i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J. \quad (1)$$

Попарно оценивая подобие МТП изготовления деталей, путем сравнения элементов матрицы $C_{гт}$, строят полную матрицу подобия:

	МТП ₁	МТП ₂	МТП ₃	...	МТП _I
МТП ₁	1	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	...	$S_{1,I}$
МТП ₂	$S_{2,1}$	1	$S_{2,3}$	...	$S_{2,I}$
МТП ₃	$S_{3,1}$	$S_{3,2}$	1	...	$S_{3,I}$
...	...	...	...	...	...
МТП _I	$S_{I,1}$	$S_{I,2}$	$S_{I,3}$	...	1

, (18)

где МТП₁... МТП_I - разработанные МТП, представленные соответствующими строками ($i = 1, \dots, I$) матрицы $C_{гт}$; $S_{i,k}$ - оценка подобия МТП i и k , определяемая по формуле:

$$S_{i,k} = \frac{2c}{j_i + j_k}, \quad (19)$$

где c - число пар тождественных элементов в i и k строках матрицы $C_{гт}$; j_i, j_k - число элементов, отличных от нуля в i и k строках матрицы $C_{гт}$ (максимальное число операций в сравниваемых МТП _{i} и МТП _{k}).

Суммируют построчно элементы полной матрицы подобия

$$S_{i,*} = \sum_{u=1}^{u=I} S_{i,u}, u = 1, \dots, I, \quad (20)$$

где $S_{i,*}$ - сумма оценок всех значений оценок технологического подобия МТП _{i} процессов, планируемых для реализации в проектируемом ТК. Полученные суммы сравнивают и определяют наибольшую из них ($S_{b,*}$). Это означает, что МТП _{b} в наибольшей степени технологически подобен процессам изготовления других деталей и поэтому наиболее целесообразно выбрать его в качестве базового процесса, а деталь (b) - в качестве детали-представителя для последующей разработки ТК.

Определение состава и, в зависимости от принципа специализации, необходимого количества параллельно работающих станков на каждой операции, или участку в соответствии с длительностью обработки, наладок и переналадок

при заданной годовой программе выпуска выполняют по предложенным методикам (см. гл. 2).

В качестве примера выполнен сравнительный анализ результатов определения количества оборудования с технологической специализацией, выполненного по различным методикам.

Определение количества оборудования проведено для 2-х участков: токарных станков с ЧПУ и фрезерных станков с ЧПУ.

Программа выпуска для участка токарных станков с ЧПУ на календарный год включает 98 различных наименований деталей с объемами выпуска от 3 до 208 штук в год. Программа выпуска для участка фрезерных станков с ЧПУ на календарный год включает 106 различных наименований деталей с объемами выпуска от 1 до 120 штук в год. Режим работы участков двухсменный. Тип производства – мелкосерийный.

Для проведения сравнительного анализа проведено определение необходимого количества оборудования на основе одних и тех же исходных данных по следующим методикам:

1. Общепринятой методике, по точной и приведенной программам.
2. Предлагаемой методике для предпроектных этапов, по точной и приведенной программам.
3. Предлагаемой методике для проектного этапа.
4. Предлагаемой методике с учетом неопределенностей.

Расчет необходимого количества оборудования по общепринятым методикам по точной и по приведенной программе привел к одинаковым количествам принятого оборудования ($C_n=2$ для каждого из участков).

При определении необходимого количества оборудования по предлагаемой методике для предпроектных этапов исходили из того, что необходимое количество оборудования может быть рассчитано через сумму штучных времен и коэффициент экстенсивного использования оборудования ($K_{эи}$). Поскольку числовые значения коэффициента экстенсивного использования определялись по результатам производственных исследований в тех же условиях, что и в рассматриваемом примере, использовано полученное в гл. 3 значение $K_{эи} = 0,4$.

Полученные результаты (табл. 2) показали, что затраты времени на наладочные процессы, вычисленные с использованием коэффициентов, полученных в результате производственных исследований, оказывают существенное влияние на количество необходимого оборудования.

Приведен пример практического расчета количества оборудования участка изготовления корпусных деталей с предметной специализацией.

Исходные данные и принятые допущения:

1. В комплект деталей изделия входят $m=5$ корпусных, технологически подобных деталей.
2. Тип производства – среднесерийный.
3. Годовой объем выпуска каждой детали $Z_{год} = 1000$ штук.

4. Действительный годовой фонд времени оборудования $\Phi_{до} = 3890$ час. при двухсменном режиме работы.
5. Маршрутные технологические процессы изготовления деталей известны.
6. Значения коэффициентов, необходимые для расчета по методике (см. гл. 2) известны: $K_1=1,4$; $K_2=14$; $K_3=4$; $\eta_{ис}=0,8$; принятая доля брака $\alpha=0,05$.

Таблица 2.

Результаты расчетов необходимого количества оборудования участка с технологической специализацией, выполненных по различным методикам

Участок	Расчет по общепринятой методике $C_{п}$, штук	Расчет для предпроектного этапа $C_{п}$, штук			Расчет для проектного этапа $C_{п}$, штук		
	<i>nom</i>	<i>nom</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>nom</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
токарных станков с ЧПУ	2	3	3	4	3	2	3
фрезерных станков с ЧПУ	2	4	3	5	3	3	4

Изготовление деталей комплекта выполняли на фрезерных станках с ЧПУ, МТП изготовления каждой детали включал 4 операции. На первой операции у заготовок всех пяти деталей производили подготовку чистовых баз; на второй – обработку с 2, 3 или 4 сторон; на третьей - обработку остальных поверхностей. В четвертой операции выполняли дополнительную чистовую обработку, вследствие специфических требований к точности отдельных поверхностей.

В таблице 3 приведены исходные значения основного времени обработки заготовок всех деталей по операциям (t_{oki}), приведены суммы основных времен как по отдельным деталям ($\sum_1^q t_{oi}$, мин) в целом, так и пооперационно ($\sum_1^m t_{ok}$, мин). Значения основных времен определены предварительным расчетом.

Расчеты проведены по общепринятой и предлагаемой методикам. Сравнительные результаты представлены в табл. 4. Параметр $t_{дп}$ в табл. 4 – интервал поставок комплектов деталей (месяцы).

Проведенный расчет полностью подтвердил выдвинутое в гл. 2, гл. 3 утверждение о необходимости учета при определении количества оборудования ТК затрат времени на наладочные процессы. Зависимость количества оборудования от времени наладок и переналадок существенна даже в условиях малономенклатурного производства, для которого проектировался участок с предметной специализацией.

Таблица 3.

Исходные значения основного времени обработки заготовок всех деталей по операциям МТП

Код детали	Основное время, t_{oki} , мин				Всего, мин
	Операция				
	1	2	3	4	
K1	12	60	40	20	132
K2	8	45	30	20	103
K3	12	80	60	30	182
K4	10	45	50	30	135
K5	9	50	40	25	124
Сумма	51	280	220	125	676

Таблица 4.

Принятое количество оборудования участка с предметной специализацией в зависимости от параметров программы и плана выпуска

Варьируемые параметры		C_p для операций, шт.			
S , шт./год	$t_{дп}$	1	2	3	4
Общепринятая методика					
В расчете не используется	В расчете не используется	1	2	2	1
Предлагаемая методика					
1	1	1	2	2	1
1	12	1	3	2	1
12	1	1	4	3	2
12	12	1	3	2	1

Ситуация, когда оборудование с ЧПУ тратит на изготовление продукции не более 40-50 % действительного фонда времени своей работы, имеет объективные причины, но является совершенно недопустимой. Рассмотрение причин и относительной величины простоев различного рода в данной работе позволило предложить ряд новых путей повышения фактической работоспособности:

1. Повышение загрузки станков с ЧПУ путем минимизации разницы между расчетным и принятым количеством станков. Этого можно достичь на стадии проектирования ТК коррекцией разработанных МТП по результатам расчетов необходимого количества оборудования по операциям.
2. Применение универсальных наладок. В наше время данную идею можно реализовать, создавая универсальные инструментальные наладки. В первую очередь универсальная инструментальная наладка позволит

существенно сократить время возвратных переналадок, а, при должной организации подготовки производства - и первичных отладок.

3. Уменьшение времени, затрачиваемого на наладочные процессы.

Возможны два способа снижения затрат времени, затрачиваемого на процессы наладки:

- а) сокращение числа первичных отладок и возвратных переналадок в рамках планируемого периода работы ТК;
- б) сокращение длительности единичных отладок и переналадок.

Число первичных отладок может быть уменьшено применением известных принципов преемственности конструкций. Число возвратных переналадок с точки зрения необходимого количества оборудования и степени его фактического использования должно быть минимальным. Это необходимо учитывать при составлении планов работы ТК на рассматриваемый календарный период, однако, для данного параметра существуют и другие определяющие факторы (график поставок, потребности сборки и др.). Длительности единичных возвратных переналадок в основном определяются затратами времени на установку и настройку приспособлений и инструментов. Основные затраты времени в рамках первичных отладок – это время написания и коррекции программ и время изготовления пробных деталей. Причиной списания, то есть – отказа в приемке пробных деталей с разрешением изготавливать партию, практически всегда является несоответствие полученных показателей качества заданным (брак).

Отсутствие эффективной методики, позволяющей при разработке технологической операции спрогнозировать соответствие фактически получаемых показателей качества регламентируемым, является одной из основных причин многоитерационности процессов первичных отладок и, как следствие, существенных затрат времени на эти процессы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Решена актуальная научная проблема выбора оборудования проектируемых технологических комплексов из станков с ЧПУ в условиях производственной неопределенности, имеющая важное значение для машиностроения и экономики РФ.
2. Суммарное время производительной работы станков с ЧПУ в составе технологических комплексов сопоставимо с суммарным временем, затрачиваемым на отладку операций изготовления новых деталей. Время производительной работы станка с ЧПУ в составе комплекса не превышает 25...50% его действительного фонда времени.
3. В условиях многономенклатурного производства действительный фонд времени работы изолированно рассматриваемого станка не является количественной характеристикой времени его производительной работы в комплексе вследствие неизбежных затрат времени на наладочные процессы. Использование значений действительного фонда времени изолировано рассматриваемого

станка при проектировании технологических комплексов недопустимо, так как неизбежно ведет к ошибочным проектным решениям.

4. Селекция по технологическому подобию номенклатуры деталей, планирующихся для изготовления в проектируемом комплексе, сокращает затраты на проектирование не менее, чем на 10...15%, исключая детали, процессы изготовления которых не могут быть эффективно реализованы в проектируемом комплексе.
5. Количество оборудования проектируемого технологического комплекса необходимо определять, учитывая его фактическую работоспособность, обусловленную наладочными процессами, в соответствии с предложенными методиками проектного и предпроектного этапов расчета.
6. Предложенные методики обеспечивают выбор оборудования проектируемых комплексов с учетом всех производственных неопределенностей, определяя для каждой группы оборудования диапазон его возможного количества, из которого проектировщик вправе выбрать конкретное значение. Технологические комплексы целесообразно создавать первоначально по простейшим структурно-компоновочным вариантам, с резервированием площадей и ресурсов, что также может быть оценено предложенными методиками.
7. Доказано наличие функциональной связи между временами наладок и временами циклов изготовления деталей на станках с ЧПУ, а также – между временами циклов изготовления на станках с ЧПУ и оперативными временами изготовления тех же деталей на универсальных станках. Полученные значения нормирующих коэффициентов применимы для использования при расчетах необходимого количества оборудования проектируемых технологических комплексов.
8. Отношение времени производительной работы оборудования с ЧПУ к общему необходимому времени его работы не зависит от основного времени изготовления деталей и является объективной мерой экстенсивного использования оборудования. Для технологических комплексов многономенклатурного мелкосерийного производства из станков с ЧПУ токарной и фрезерной групп указанное соотношение составляет 0,23...0,4.
9. Непрерывность механосборочного производства определяется количеством комплектов деталей, изготавливаемых в комплексе из станков с ЧПУ между переналадками в соответствии с предложенными зависимостями.
10. Время цикла изготовления партии деталей на станках с ЧПУ меньше времени изготовления той же партии на универсальных станках уже

при размерах партий, не превышающих 25 штук. Технологические комплексы многономенклатурного производства целесообразно формировать из станков с ЧПУ, даже при значительных затратах времени на отладку процессов изготовления.

11. Предлагаемая методология выбора оборудования обеспечивает гарантированное выполнение комплексом производственной программы выпуска деталей при полном использовании технологических возможностей оборудования даже в условиях производственной неопределенности.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Волчкевич И.Л. О типизации современного машиностроительного производства // Справочник. Инженерный журнал. 2005. № 10. С. 59-64.
2. Волчкевич И.Л. Подготовка специалистов в области машиностроительного производства // Технология машиностроения. 2007. № 2. С. 88-90
3. Волчкевич И.Л., Галий В.В. Подobie производственных систем и классификация типов машиностроительного производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2009. Вып. 1. Часть 1. С. 3-9.
4. Волчкевич И.Л. Актуальность и история развития науки о проектировании технологических комплексов машиностроения в МГТУ имени Н.Э. Баумана // Справочник. Инженерный журнал. 2010. № 9. С. 51-56.
5. Волчкевич И. Л. Расчет необходимого количества оборудования при проектировании технологических комплексов авиационной промышленности в условиях переналаживаемого производства // Авиационная промышленность. 2011. № 2. С. 61-64.
6. Волчкевич И.Л. Декомпозиция фонда времени, как основа для расчета необходимого количества оборудования в условиях многономенклатурного производства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 9. С. 62-64.
7. Волчкевич И.Л. Расчет необходимого количества оборудования проектируемых технологических комплексов в машиностроении с учетом факторов производственной неопределенности // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 10. С. 69-71.
8. Волчкевич И.Л. Расчет количества оборудования в условиях переналаживаемого производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 5 в 3-х ч. Ч. 3. С. 41-47.
9. Волчкевич И.Л. Минимизация времен отладок станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства // Известия Тульского

- государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 5 в 3-х ч. Ч. 3. С. 16-21.
10. Волчкевич И.Л. Проблема рационального использования станков с ЧПУ в отечественной промышленности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 5 в 3-х ч. Ч. 3. С. 48-53.
 11. Волчкевич И.Л. Прогнозирование ожидаемой точности при механической обработке партий деталей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 6 в 2-х ч. Ч. 2. С. 3-8.
 12. Волчкевич И.Л. Основы расчета количества технологического оборудования в условиях рыночной экономики // Экономика и управление в машиностроении. 2011. № 6. С. 14-16.
 13. Волчкевич И.Л. Обеспечение потребностей сборки при изготовлении деталей машин // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2012. № 2. С. 34-37.
 14. Волчкевич И.Л. Рациональное использование станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства // Электронное научно-техническое издание Наука и образование. 2012. № 2. URL. <http://technomag.edu.ru/doc/362086.html>.
 15. Волчкевич И.Л. Расчет необходимого количества оборудования при проектировании технологических комплексов в условиях многономенклатурного производства // Электронное научно-техническое издание Наука и образование. 2012. № 3. URL. <http://technomag.edu.ru/doc/362271.html>.
 16. Волчкевич И.Л. Оптимизация размеров партий при изготовлении деталей машин с точки зрения обеспечения потребностей сборки // Электронное научно-техническое издание Наука и образование. 2012. № 4. URL. <http://technomag.edu.ru/doc/362423.html>.
 17. Волчкевич И.Л. О задачах классификации современных машиностроительных производств // Машиностроительные технологии.: Сборник докладов Всеросс. Научно-техн. конф. Москва, 2008. С. 132-136.
 18. Волчкевич И.Л. Проблемы построения системы подготовки специалистов-технологов в современных условиях // Машиностроительные технологии.: Сборник докладов Всеросс. Научно-техн. конф. Москва, 2008. С. 27-34.
 19. Волчкевич И.Л. Галий В.В. О возможности применения принципа подобия производственных систем при проектировании технологических комплексов в автотракторостроении // Автотракторостроение.: Сборник докладов Международной Научно-технической конференции. Москва, 2009. С. 43-48.

20. Волчкевич И.Л., Лекаева И.А. О прогнозировании себестоимости на ранних этапах проектирования предприятий автотракторостроения // Автотракторостроение.: Сборник докладов Международной Научно-технической конференции. Москва, 2009. С. 49-56.
21. Волчкевич И.Л. Основы выбора состава оборудования проектируемых технологических комплексов из станков с ЧПУ // Машиностроение и техносфера XXI века.: Сборник докладов XVII международной научно-технической конференции. Донецк, 2010. С. 159-166.
22. Волчкевич И.Л. Оценка работоспособности автоматизированных технологических комплексов из станков с ЧПУ // Инновации в машиностроении.: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Минск, 2010. С. 245-247.
23. Volchkevich I. Estimation of the industrial uncertainty factors on selecting equipment configuration for designing machinery manufacturing production facilities // Advanced composite materials and technologies for aerospace applications.: Proceedings of the first international workshop. Wrexham, 2011. P. 89-95.
24. Volchkevich I., Galiy V. Production program analysis and manufacturing scheme development at the justification of investment stage // Advanced composite materials and technologies for aerospace applications.: Proceedings of the first international workshop. Wrexham, 2011. P. 96-100.
25. Волчкевич И.Л., Волчкевич Л.И. Перспективы применения станков с ЧПУ в современном машиностроении // Автоматизация: проблемы, идеи, решения.: Материалы международной научно-технической конференции. Севастополь, 2011. С. 41-43.
26. Волчкевич И.Л. Расчет количества оборудования автоматизированных технологических комплексов с учетом факторов производственной неопределенности // Автоматизация: проблемы, идеи, решения.: Материалы международной научно-технической конференции. Севастополь, 2011. С. 43-44.
27. Волчкевич И.Л. Исследование фактической работоспособности современного высокопроизводительного оборудования с ЧПУ // Машиностроение и техносфера XXI века.: Сборник докладов XVII международной научно-технической конференции. Донецк, 2011. С. 144-145.