



НАЦИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. Е. ЖУКОВСКОГО
«ХАРЬКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ»

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Сборник научных трудов
Выпуск 43(4)

2005

Министерство образования и науки Украины
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Национальный аэрокосмический университет

им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

ISBN 966-662-128-2

**ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА
КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

43(4) декабрь 2005

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издается с января 1984 г.

Выходит 4 раза в год

Харьков «ХАИ» 2005

Учредитель сборника
научных трудов

**Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный
институт»**

Утвержден в печать ученым советом Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», протокол № 3 от 24 ноября 2005 г.

**Главный
редактор**

Яков Семенович Карпов, доктор технических наук,
профессор, Заслуженный деятель науки и техники Ук-
раины, лауреат Государственной премии Украины

**Редакционная
коллегия**

В.Е. Гайдачук, д-р техн. наук, проф., Заслуженный деятель
науки и техники Украины, лауреат Государственной
премии Украины (заместитель главного редактора);

С.А. Бычков, д-р техн. наук, проф., лауреат Государствен-
ной премии Украины;

А.В. Гайдачук, д-р техн. наук, проф.;

А.Г. Гребеников, д-р техн. наук, проф.;

В.Ф. Забашта, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., лауреат
Государственной премии Украины;

Д.С. Кива, д-р техн. наук, проф., Заслуженный деятель
науки и техники Украины, лауреат Государственной
премии Украины

В.В. Кириченко, канд. техн. наук, проф.;

В.Н. Кобрин, д-р техн. наук, проф.;

В.Н. Король, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной
премии Украины

М.Ю. Русин, д-р техн. наук, проф.;

В.И. Сливинский, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

М.Е. Тараненко, д-р техн. наук, проф.;

П.А. Фомичев, д-р техн. наук, проф., лауреат
Государственной премии Украины;

**Ответственный
секретарь**

О.В. Ивановская, канд. техн. наук, доцент.

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 7344 от 27.05.2003 г.
За достоверность информации несут ответственность авторы.
При перепечатке материалов ссылка на сборник научных материалов обязательна.

© Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», 2005 г.

Содержание

<i>Вниманию авторов</i>	4
<i>Гайдачук В.Е., Кириченко В.В., Сливинский В.И.</i> Концептуальные подходы к оптимизации по массе многоотсековых сотовых конструкций летательных аппаратов.....	7
<i>Кириченко В.В., Кондратьев А.В.</i> Анализ эффективности схем армирования несущих обшивок и оптимизации свойств сотового заполнителя трехслойных оболочечных конструкций летательных аппаратов.....	27
<i>Иванов П.И., Иванов Р.П.</i> Аналитическое проектирование планирующих парашютных и парапланерных систем.....	38
<i>Цирюк А.А., Яровой М.А.</i> Синтез рациональной конструктивно-силовой схемы крыла малого удлинения.....	51
<i>Лемко О.Л.</i> Дослідження впливу форми крила в плані на аеродинамічні характеристики літальних апаратів схеми "літаюче крило".....	59
<i>Шевцова М.А.</i> Длительная прочность композиционных материалов в зависимости от условий внешней среды.....	65
<i>Клопота А.В., Шевцова М.А.</i> Определение упругих характеристик и коэффициентов матрицы жесткости пленочных материалов и покрытий.....	69
<i>Берешко И. Н., Халыпа В. А., Вамболь С. А.</i> Напряженно-деформированное состояние цилиндрических труб под действием осесимметричного температурного поля с линейным изменением температуры на переходном участке.....	74
<i>Спесивцев В.В., Кирьянчук А.Л.</i> Оценка эффективности комбинированного охлаждения камеры жидкостного ракетного двигателя.....	80
<i>Планковский С. И., Мазниченко С. А., Хитрых Е. Е.</i> Перспективы применения импульсной резки в машинах непрерывного литья заготовок.....	85
<i>Бушков Ю.Е.</i> Физически нелинейное и кусочно-линейное деформирование систем трубопроводов.....	92
<i>Мельников С.М.</i> Дефекты, возникающие в процессе обезжиривания фольги при изготовлении сотового заполнителя.....	96
<i>Бетин Д.А., Бетина Е.Ю., Кошечкина Ю.А.</i> Физическое моделирование старта воздушно-космического самолета с самолета-носителя.....	103
<i>Филь А.С.</i> Общий подход к анализу эффективности конструктивно-технологических решений звукоизоляции салонов перспективных пассажирских самолетов и их модификаций.....	109
<i>Пигнастый О.М.</i> Об особенностях построения моделей, описывающих функционирование производственных систем авиационно-космической промышленности.....	120
<i>Аннотации</i>	137

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ АВИЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Модель описания производственного процесса авиационно-космической промышленности должна строиться в полном соответствии с особенностями организационных типов производства. Эффективность применения модели в значительной степени зависит от того, насколько модель согласуется с особенностями производственной системы, связи между элементами которой имеют чрезвычайно сложный организационный и технологический характер [1]. При построении модели производственной системы необходимо базироваться на используемых в производстве календарно-плановых нормативах выпуска продукции, через технологическую документацию обеспечивать закономерности взаимодействия между собой отдельных элементов описываемой производственной системы [2]. Модель производственной системы должна соответствовать организационному типу производства, предусматривать возможность получения оптимальных решений, описывать поведение системы при наличии в ходе производственного процесса возмущающих факторов и давать рекомендации для формирования управляющего воздействия на эти возмущения.

1. Особенности моделирования технологического процесса в единичном производстве

Единичное производство характеризуется изготовлением изделий единицами или небольшими сериями. Повторяемость выпуска изделий либо отсутствует, либо нерегулярна и не влияет на особенности производственного процесса. Задача оперативного планирования заключается в своевременном изготовлении изделий и равномерной загрузки производственных участков при наиболее коротком производственном цикле. Характерной чертой единичного производства

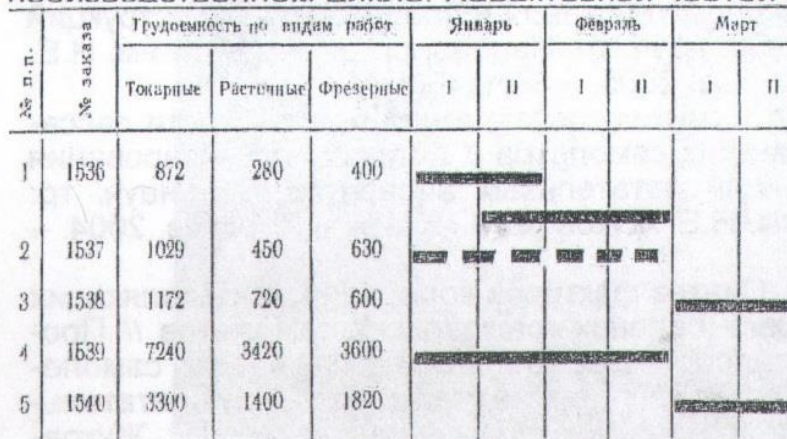


Рис.1. Календарный график обработки комплектов деталей по заказам

является тесная связь элементов календарно-плановых расчетов производства с планированием технической подготовки выполнения заказа. В изделиях наряду с оригинальными деталями имеются стандартные, в росте удельного веса которых заложен резерв повышения эффективности единичного производства. Значительно повышает

технический уровень единичного производства групповой запуск деталей разного наименования и размеров, обладающих конструктивно-технологическим сходством, что позволяет организовать их совместную обработку, если не по всему технологическому маршруту, то, по крайней мере, при выполнении ряда совпадающих

операций. Процесс выполнения заказа в единичном производстве состоит из этапа оформления заказа, подготовки производства и изготовления деталей. После оформления заказа составляются календарные графики, включающиеся в себя расчет длительности производственного цикла, построение цикловых графиков, определение календарных опережений в работе производственных участков, составление сводного календарного графика, расчеты загрузки производственных площадей и оборудования по календарным периодам и корректировка сводного графика с целью выравнивания загрузки по отдельным плановым периодам. Расчет длительности производственного цикла является ведущим показателем, принимается за основу при определении остальных календарно-плановых нормативов, определяется критическим путем сетевого графика (рис.2). Для построения сетевого графика используется массив информации, характеризующий технологический процесс материалоемкость и трудоемкость выполнения операций. Располагая сетевыми графиками по каждому изделию, строится сводный сетевой график производственного процесса, основными точками которого являются намеченные сроки выпуска изделий по плану. Сводный сетевой график обеспечивает календарную увязку в работе производственных подразделений, согласует пропускную способность и загрузку оборудования (рис.3). В тех случаях, когда пропускная способность недостаточна для параллельной работы над разными заказами, должны быть запроектированы организационные меры по расшивке узких мест, лимитирующие выполнение заказов в установленные сетевым графиком сроки. В таких случаях требуется корректировка сроков путем увеличения времени опережения по сравнению с запланированным ранее расчетом. Для этого подсчитывается средняя плотность работ на протяжении цикла изготовления ведущих деталей по операциям и видам работ. Средняя плотность работ (рис.3) определяется как частное от суммированной трудоемкости изготовления изделия по виду работ на число дней критического пути сетевого

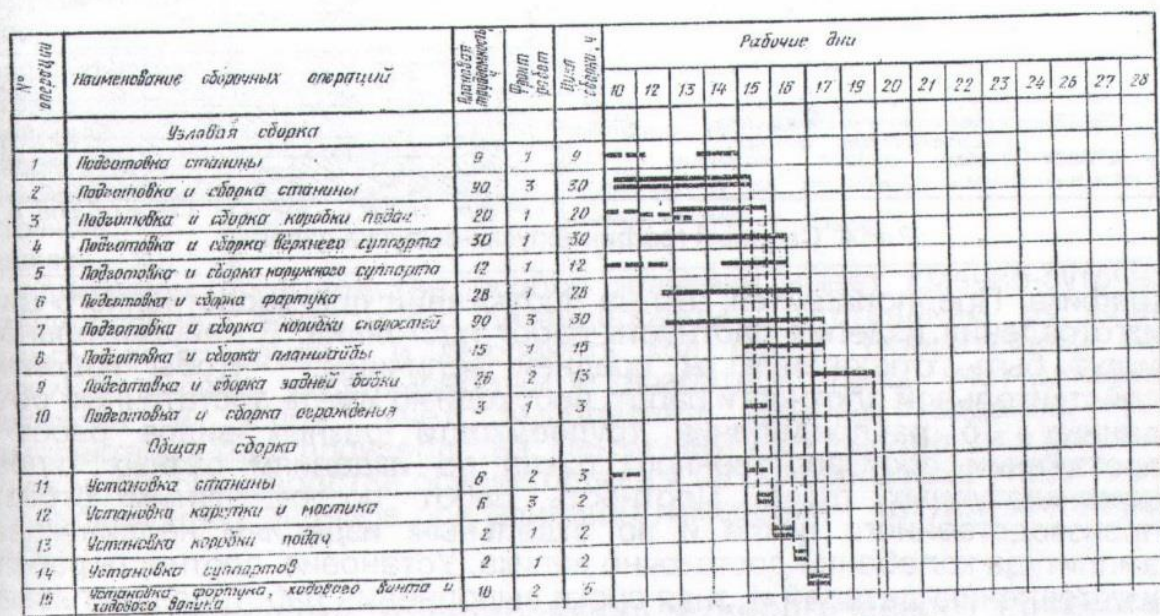


Рис.2. Сетевой график сборки объекта А

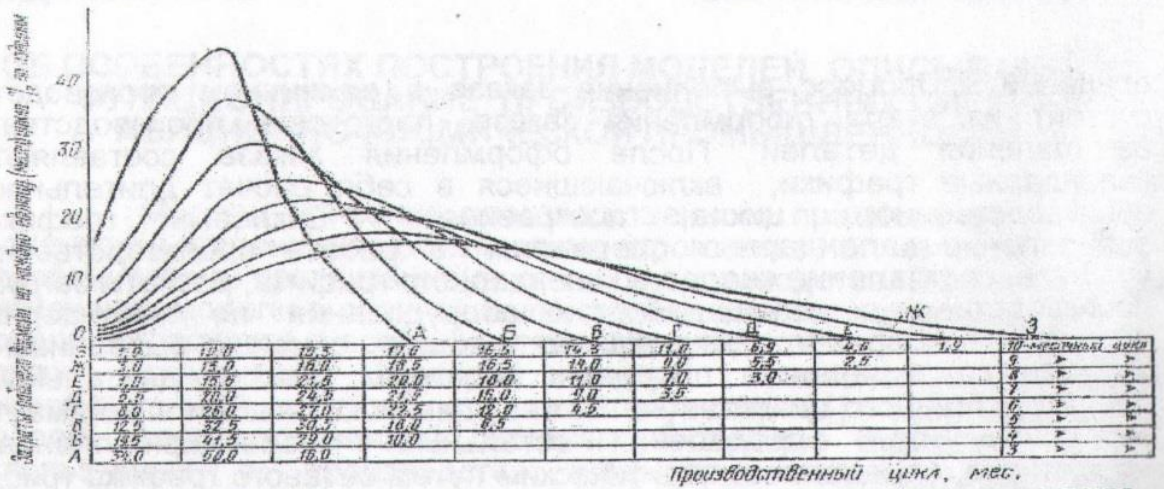


Рис.3. Распределения трудоемкости изделия по этапам производственного цикла

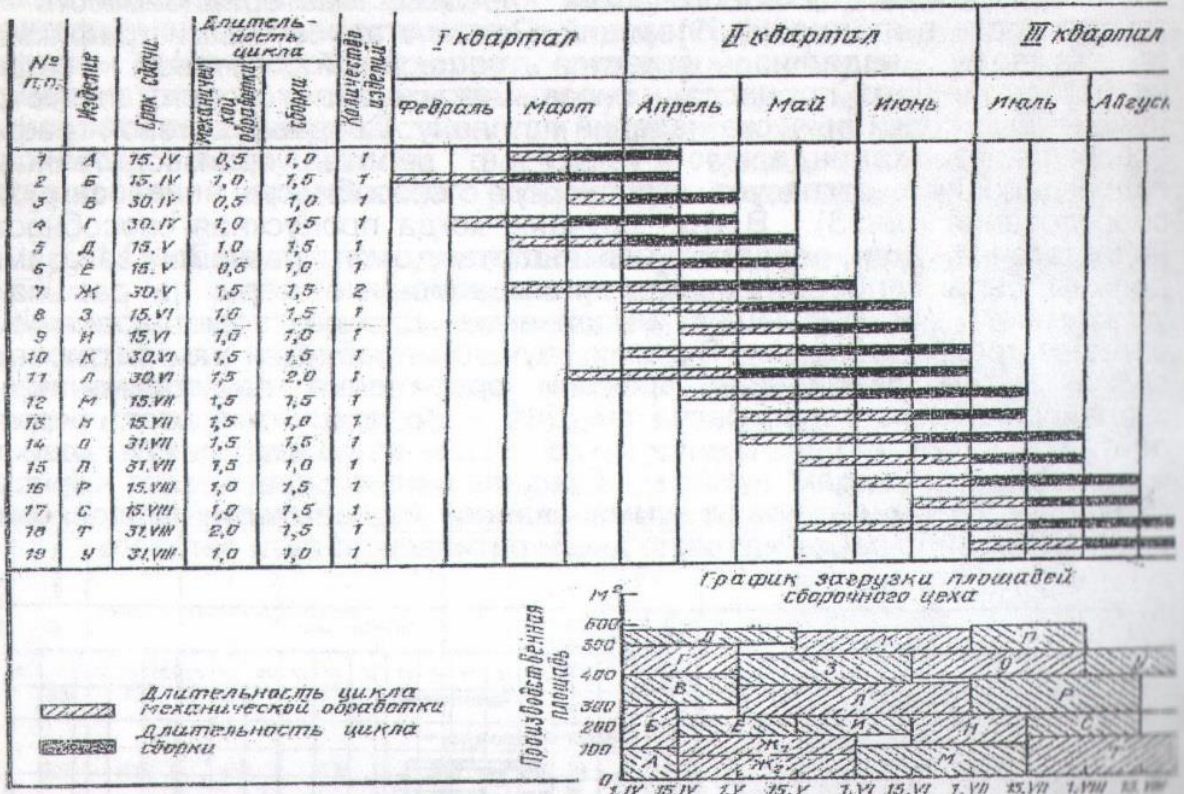


Рис.4. Сводный график запуска-выпуска изделий

графика. Предполагается, что на протяжении производственного цикла изготовления изделия плотность работ постоянна. В действительности могут быть отклонения от средней величины. Чтобы подойти к действительной плотности работ, необходимо иметь достаточный объем данных о распределении трудоемкости разных видов работ на протяжении производственного цикла по изделиям разных типов и номенклатурных групп. Плотность работ по отдельным отрезкам производственного цикла и по отдельным изделиям неодинакова и амплитуда колебаний достаточно велика. Установив плотность работ по изготовлению деталей и, зная сроки выполнения работ, подсчитывается календарное распределение загрузки по группам оборудования. Для

Шифр изделия	Квартальный план выпуска изделий, шт.	Количество деталей на изделие	Квартальный план выпуска деталей, шт.	Количество деталей на изделие-представитель
ВЛ-60	100	2	200	$\frac{900}{100} = 9$
ВЛ-8	40	10	400	
ВЛ-23	25	4	100	—
Поставка на кооперацию	—	—	200	
Итого			900	

Рис.5. Пример выбора количества деталей на условное изделие

единичного производства характерно применение позаказной и комплектно-узловой систем планирования. При непродолжительном производственном цикле используется позаказная система планирования, при которой все необходимые для узловой и монтажной сборки детали подаются заблаговременно и комплектуются перед началом сборочных работ. Планово-учетной единицей является заказ или комплект заготовок. Позаказная система планирования наиболее проста в организационном отношении, но подача всех комплектующих и материалов к началу сборки вызывает длительное прослеживание материальных ценностей на всем протяжении сборочного цикла. Если продолжительность производственного цикла велика (больше месяца), рекомендуется применять подачу деталей несколькими очередями к этапам выполнения работ. Такой порядок соответствует комплектно-узловой системе планирования. В модели технологического процесса в единичном производстве следует учитывать ограничения (Таблица №1):

Таблица №1. Ограничения в модели тех. процесса в единичном производстве

Коэффициент загрузки оборудования	$K_{зб} = \frac{\Theta_o}{M_{оборуд}} < 1$	Θ_o - планируемый объем работ в k -ом месяце; $M_{оборуд}$ - полная пропускная способность оборудования для узкого места в технологическом процессе
Коэффициент загрузки площадей	$K_{зп} = \frac{\Theta_n}{M_{площад}} < 1$	Θ_n - площади для выполнения планируемого объема работ в k -ом месяце; $M_{площад}$ - полная пропускная способность площади для узкого места в технологическом процессе
Разработка сменного суточного задания	$\sum_{k=1}^n N_n \cdot t_{н.ед.об} \leq 8 \text{ час}$	N_n - количество заготовок при последовательном выполнении n -ой операции с операционным временем выполнения операции $t_{н.ед.об}$

В единичном производстве особое значение имеет сменно-суточное планирование, призванное ликвидировать отставание от плана отдельных операций и выровнять ход работ. Оперативный учет включает в себя: учет выработки и заработной платы; учет движения заготовок и узлов; учет выполнения сменных заданий; учет комплектации хода производства. Первичный учет выработки в условиях единичного производства осуществляется на основе маршрутных карт и пооперационных нарядов при единицах измерения - штуках или норма-часах.

2. Особенности моделирования технологического процесса в серийном производстве

В серийном производстве номенклатура изготавливаемых изделий более стабильна и регулярно повторяется в программе выпуска, число

выполняемых в цехах деталь-операций значительно превышает количество рабочих мест, что предопределяет изготовление изделия партиями. Главной задачей оперативного планирования в этих условиях является обеспечение периодичности изготовления изделий в соответствие с плановым заданием. Относительная стабильность производственной программы, повторяемость изделий в программе выпуска, освоенный технологический процесс позволяет придать календарно-плановым расчетам в условиях серийного производства плановый характер. Серийное производство в зависимости от масштабов выпуска изделий, их трудоемкости, регулярности повторения имеет разновидности, тяготеющих по своему характеру либо к единич-

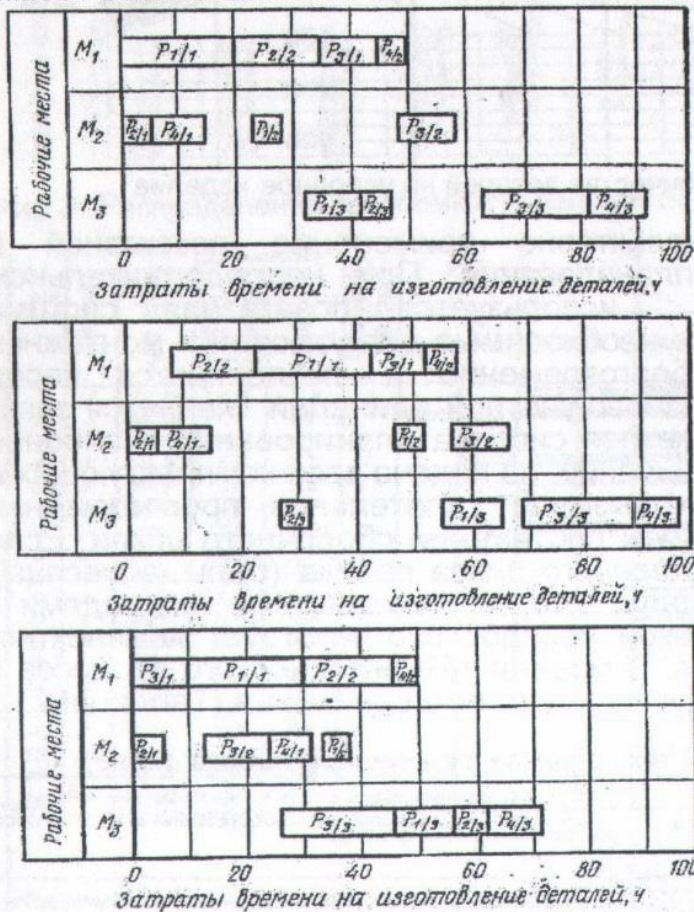


Рис.6. Календарный график загрузки оборудования при разных последовательностях запуска детали

ному (мелкосерийному), либо массовому (крупносерийному) производству. Повышение серийности достигается унификацией деталей, типизацией технологических процессов. Календарно-плановые нормативы представляют собою определение размера партий единовременно изготавливаемых изделий с однократной затратой подготовительно-заключительного времени и периодичность их изготовления, продолжительность производственных циклов обработки и календарно-плановых опережений, расчет заделов. Определение норматива размера партии служит базой для регламентации периодичности переналадок оборудования и изготовления одноименных деталей. Для серийного производства характерно сокращение номенклатуры одновременно изготавливаемых изделий (избегая тем самым

большое количество переналадок); параллельное изготовление видов продукции, дополняющих друг друга в структуре трудоемкости, обеспечивая полную загрузку оборудования и рабочей силы (рис.6). Планируемый объем выпуска должен постепенно возрастать, отражая динамику повышения производительности труда, сочетание разноименных месячных заданий по возможности иметь устойчивый характер и представлять собой небольшое количество вариантов, способствующих ритмичной работе производства и значительно облегчающих оперативное планирование. Размер партии обязан обеспечить непрерывную работу сборщиков в течение продолжительного времени, что содействует повышению производительности. В модели технологического процесса в серийном производстве следует учитывать

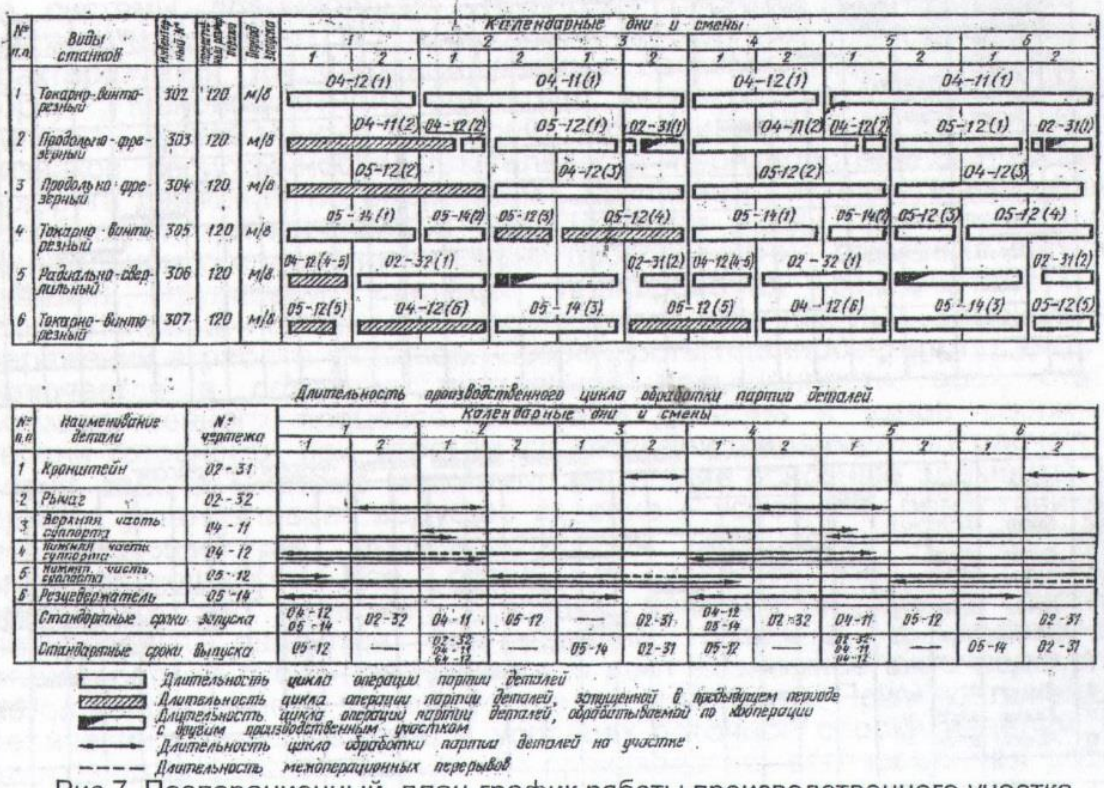


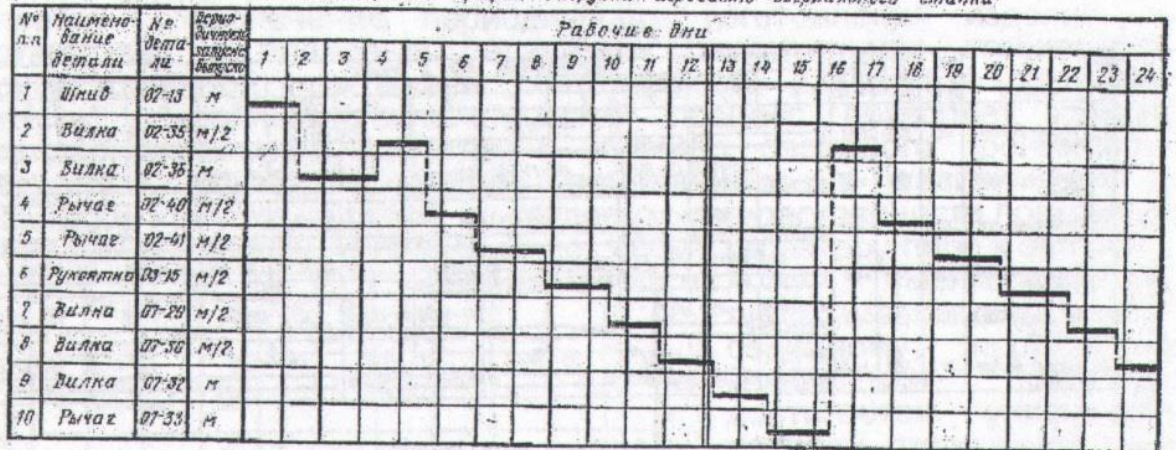
Рис.7. Пооперационный план-график работы производственного участка

Таблица №2. Ограничения при моделировании тех.процесса в серийном производстве

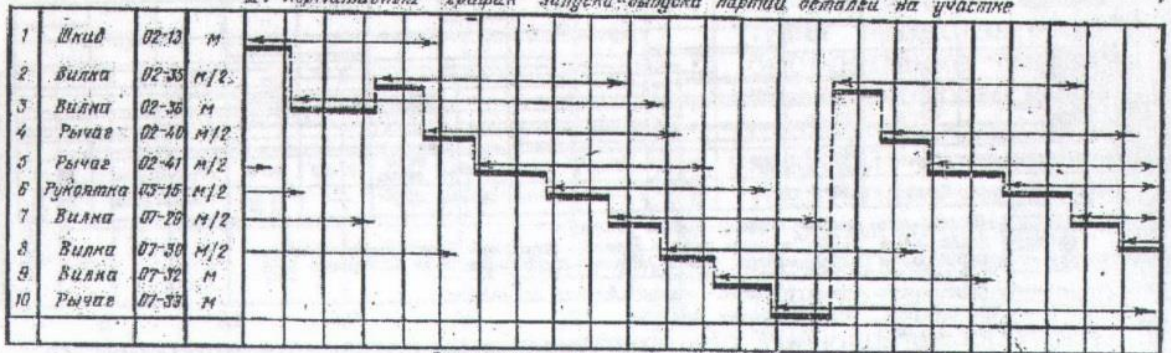
выпуск деталей в каждом периоде должен обеспечивать полную загрузку оборудования	$\sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot x_{ik} \leq \Phi_{jk} - \Delta\Phi_{jk}$ <p>t_{ij} - суммарное время обработки одной штуки i-го изделия по j-му виду оборудования; x_{ik} - количество штук i-го изделия, планируемое к выпуску в k-ом месяце; Φ_{jk} и $\Delta\Phi_{jk}$ - соответственно используемый фонд времени и заданное допустимое отклонение используемого фонда времени j-го вида оборудования в k-ом месяце;</p>
равномерное распределение выпуска в стоимостном выражении	$\sum_{i=1}^n C_i \cdot x_{ik} \leq \Theta_k - \Delta\Theta_k$ <p>C_i - оптовая цена i-го изделия; Θ_k и $\Delta\Theta_k$ - соответственно планируемый в k-ом месяце объем выпуска товарной продукции в оптовых ценах и заданное допустимое отклонение от объема выпуска;</p>
программа выпуска N_{α} i -го изделия в плановом периоде	$\sum_{k=1}^n x_{ik} \leq N_{\alpha}$

ограничения, приведенные в таблице №2. Для сокращения длительности производственного цикла используют параллельно-последовательное движения деталей, характеризующееся коэффициентом параллельности. Наиболее точно длительность производственного цикла может быть установлена на основании планов-графиков работы производственных участков (рис.7), представляющие собой расписание прохождения партий деталей по рабочим местам технологического процесса. Различают планы-графики работы производственных участков: план-график переменного-поточной линии, регламентирующей периодичность запуска деталей в обработку и соответственно сроки переналадки линии с одного объекта на другой;

I. Календарный график загрузки агрегатно-оберлильного станка



II. Нормативный график запуска-выпуска партий деталей на участке



——— Длительность цикла обработки партии деталей на первой операции (агрегатно-оберлильном станке)
 ——— Длительность цикла обработки партии деталей на участке
 ——— Длительность цикла обработки партии деталей, переходящей на следующий месяц
 м Месячная периодичность запуска-выпуска партий
 м/2 Полумесячная периодичность запуска-выпуска партий

Рис.8. План-график запуска-выпуска деталей

пооперационный план-график для производственных участков, обрабатывающих детали партиями для непрерывной сборки изделий при небольшом числе деталь-операций; план-график запуска-выпуска партий деталей с периодической повторяемостью применительно к непрерывной или строго периодической сборке готовых изделий; календарный график подачи деталей на сборку и их запуска на первую операцию. Одним из основных календарно-плановых нормативов в серийном производстве являются заделы. При расчете заделов устанавливаются показатели: средний размер заделов как элемент нормирования величины незавершенного производства и определение требующихся предприятию собственных оборотных средств; минимальные и максимальные размеры заделов как нормативные величины, необходимые для оперативного контроля их состояния и регулирования; переходящий нормативный размер заделов на конец (начало) планового периода. Для серийного производства применяются

две системы планирования: групповая система планирования (по цикловым комплектам) и планирование по заделам. Групповая система характеризуется дифференцируемыми сроками подачи деталей на сборку. Планово-учетной единицей является цикловой комплект: комплект оригинальных деталей, сформированный по общности признаков периодичности, длительности производственного цикла и маршрута движения по операциям. Групповая система планирования способствует ритмичному и равномерному ходу производства при значительном сокращении времени прослеживания движения деталей. Сущность групповой системы планирования заключается в установлении и постоянном соблюдении комплектных календарных опережений в работе участков. Особенность планирования по заделам заключается в создании постоянной насыщенности всех стадий производственного процесса заделами деталей и узлов различной степени готовности при строгом соблюдении минимально расчетного уровня задела. Система включает следующие основные элементы. Во-первых, устанавливает ведущее изделие – условный представитель, преобладающий в производственном процессе и постоянно изготавливаемый. Все остальные изделия как бы условно комплектуют это изделие. Условием применения данной системы планирования являются значительный объем и достаточная устойчивость выпуска продукции, что дает возможность не подвергать частой корректировке расчет условного комплекта. При дальнейшем увеличении объема выпуска в условиях поточной сборки изделий, что характерно для крупно-серийного производства, согласованная работа производственных звеньев достигается путем соблюдения четкой периодичности изготовления деталей по стандартным календарным расписаниям. Основой для оперативной подготовки производства являются сменно-суточные планы, составленные для каждого рабочего места и участка в целом. Оперативный учет и движение деталей осуществляется при помощи маршрутных листов, включает в себя задачи: контроль за соблюдением технологической дисциплины; сохранности партии деталей в производстве; учет движения деталей в производстве. Единицами измерения являются условные детали или нормо-часы.

3. Особенности моделирования технологического процесса в массовом производстве

Массовое производство в машиностроении характеризуется узкой специализацией заводов, цехов и участков на выпуске ограниченной и устойчивой в течение длительного промежутка времени, изготавливаемой на основе установленного плановым заданием постоянного суточного темпа выпуска готовой продукции. Основной задачей оперативного планирования массового производства является обеспечение движения обрабатываемых деталей по операциям в заданном темпе. Отсюда значительная часть календарно-плановых нормативов массового производства носит устойчивый характер и непосредственно закладывается в основу планового регламента работы поточных линий. Оперативное планирование базируется на календарно-плановых нормативах: расчете темпа выпуска деталей $[x]_1$ в рамках графиков работы участков и расчете нормативов внутрилинейных (цикловых) и межлинейных (межцеховых) заделов $[x]_0$. Важными элементами оперативного планирования в массовом производстве является контроль и регулирование движения деталей и узлов вдоль

технологической цепочки, учет и контроль выполнения планов, контроль состояния заделов. Неодинаковые формы организации обуславливают различие в составе календарно-плановых нормативов. Для прямоточного производства характерны межоперационные заделы, которых нет в непрерывно-поточном производстве. Исходным элементом непрерывно-поточного производства является расчет такта поточной линии r , промежуток времени между выпуском с операции поточной линии двух последовательно обрабатываемых заготовок. Иногда удобнее использовать обратную величину такту – темп поточной линии $[\chi]_l = \frac{1}{r}$. На базе темпа поточной линии рассчитывается ритм

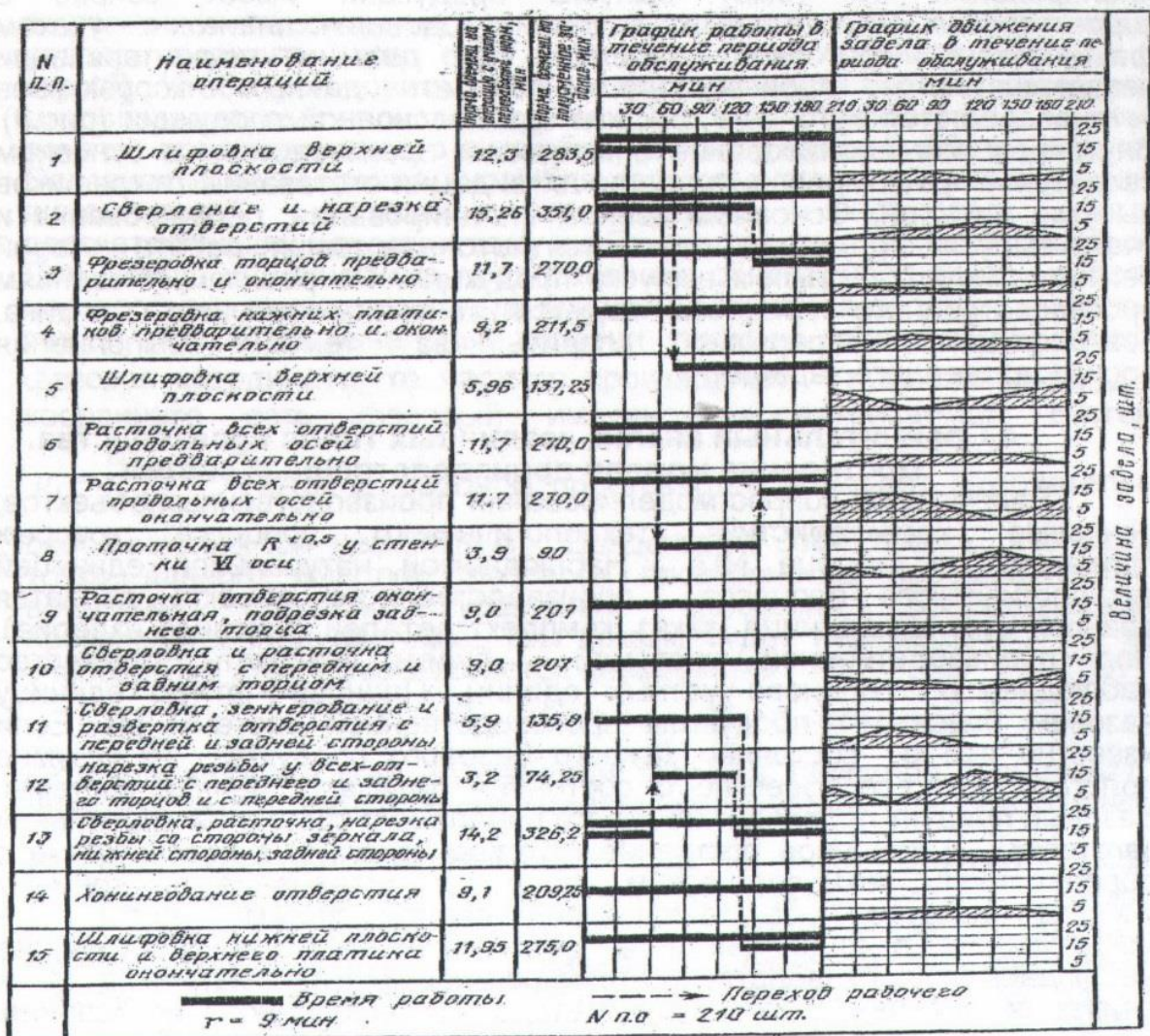
поточной линии $R = \frac{n_{mp}}{[\chi]_l}$, (n_{mp} - величина транспортной партии) и количество рабочих мест $c = t_{ум} \cdot [\chi]_l$ ($t_{ум}$ - норма штучного времени на выполнение операции). В условиях массового производства вдоль технологического процесса должно выполняться равенство

$$\frac{t_{ум1}}{c_1} \approx \frac{t_{ум2}}{c_2} \approx \dots \approx \frac{t_{умj}}{c_j} \approx \dots \approx \frac{t_{умN}}{c_N} \approx \frac{1}{[\chi]_l}$$

Для того, чтобы работа поточной линии осуществлялась бесперебойно в заданном темпе, необходимо насыщение всех стадий производственного процесса заделами, уровень которых строго регламентирован. Определение норм заделов на непрерывно-поточных линиях производится преимущественно на основе опытных данных, подкрепленными и проверенными статистическими данными и специально проводимыми наблюдениями за отклонениями от темпа в работе поточных линий. Основными причинами отклонений от темпа в работе поточных линий являются производственно-технические неполадки (несвоевременная подача заготовок и материалов, брак заготовок, отклонения от контрольных норм качества в ходе изготовления продукции, массовые поломки инструмента), вспомогательные операции, прерывающие основной процесс (переналадка и подналадка оборудования), колебания в производительности труда рабочих.

№ детали	План подачи, шт.		Отметка о положении с деталями	Подано, шт.				Результат	
	по стандартным срокам	отклонение		1-я смена	2-я смена	3-я смена	Сутки	+	-

Рис.9. Суточная план-карта выпуска



Величина задела, шт.

Рис.10. График работы прамоточной линии

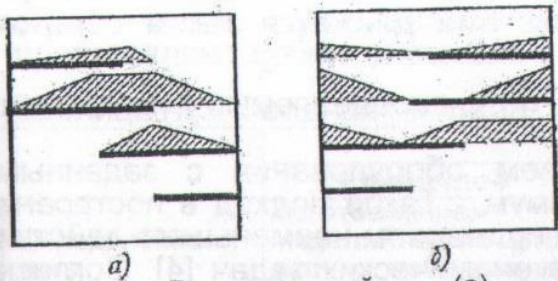


Рис.11. Рациональный (а) и нерациональный способ (б) размещения в прерывном потоке с точки зрения минимизации заделов к концу периода обслуживания оборудования

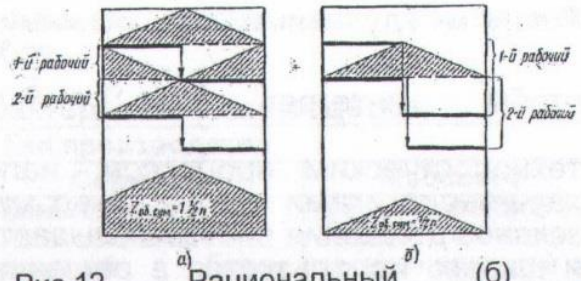


Рис.12. Рациональный (а) и нерациональный (б) способ обслуживания одним рабочим двух операций с точки зрения образования заделов

В условиях массового производства наибольшее распространение получила система планирования по темпу выпуска. Слаженный ход звеньев производственной цепочки достигается путем выравнивания их производительности применительно к единой расчетной единице — темпу выпуска продукции. Планово-учетной единицей является условное изделие. Расчет производственных программ осуществляется

цепным способом от конечной технологической операции к начальной технологической операции. Большое значение при системе планирования по темпу выпуска продукции имеет вопрос о корректировке квартальных заданий годового плана с учетом фактического состояния заделов по данным инвентаризации незавершенного производства. Помимо данных корректировок устанавливаются суточные графики сдачи основной продукции (рис.9). Внутрицеховое планирование в массовом производстве в основном сводится к проектированию мер по ликвидации отставаний от графиков выпуска деталей. Основным звеном планирования, регулирования и учета выпуска продукции является поточная линия, работа которой регламентируется темпом выпуска продукции. По решающим звеньям производственного процесса ведется контроль часового графика, позволяющий непрерывно следить за темпом выполнения производственного задания.

4. Сравнительный анализ различных типов производства.

Построение модели производственных систем

Рассмотрим вопрос моделирования производственных объектов, основные характеристики технологического процесса которых приведены в таблице №3. Наблюдаемой натуральной единицей технологического процесса производственного объекта является плано-учетная единица (заказ, комплект деталей, условное изделие). Под производственной системой будем понимать множество наблюдаемых плано-учетных единиц. Плано-учетную единицу назовем базовым продуктом производственной системы [4]. Если известно все о состоянии каждого базового продукта, то разумно полагать, что всё известно о состоянии производственной системы. Базовый продукт переходит из своего начального состояния (начальной заготовки) в конечное состояние (готовое изделие) в соответствии с определенным технологическим процессом. Изменение во времени свойств базового продукта производственной системы может быть представлено в виде движения базового продукта в пространстве наблюдаемых производственно-технологических параметров, а закон движения получен с помощью методов вариационного исчисления. Пусть в моменты времени $t = t_1$ и $t = t_2$ система, состоящая из базовых продуктов, описывается наблюдаемыми параметрами $\vec{S}(t_1)$ и $\vec{S}(t_2)$. Тогда между этими положениями система движется таким образом,

чтобы интеграл $\int_{t_1}^{t_2} J(t, \vec{S}(t), \dot{\vec{S}}(t)) \cdot dt$, определяемый конкретным

технологическим процессом, наличием оборудования с заданными характеристиками и т.д., имел минимум. Такой подход в построении законов движения систем называется принципом наименьшего действия и широко используется в решении экономических задач [4]. Согласно данному принципу система характеризуется функцией Лагранжа

$J(t, \vec{S}(t), \dot{\vec{S}}(t))$ и интегралом $S_{\text{действие}} = \int_{t_1}^{t_2} J(t, \vec{S}(t), \dot{\vec{S}}(t)) \cdot dt$,

называемым действием. Основное в таком описании состоит в том, что движение системы полностью определено, если известна ее функция Лагранжа (а соответственно и Гамильтониан системы). Великое

достижение классической динамики состоит в том, что ее законы удалось выразить через одну величину – Гамильтониан системы [5, стр.40]. Чтобы установить связь между динамикой базового продукта и макропараметрами производственной системы в целом, полезно ввести понятие представляющего ансамбля, как это делали Гиббс и Эйнштейн. Основная идея введения ансамбля состоит в том, чтобы вместо одной динамической системы рассматривать множество систем, соответствующих одному и тому же Гамильтониану (функции Лагранжа). Для Гиббса и Эйнштейна представление об ансамбле было не более, чем удобным вычислительным приемом получения средних значений в тех случаях, когда начальные условия точно не заданы. Если известна фазовая координата, то частная производная от действия $S_{действ}$ по координате есть фазовый импульс рассматриваемой системы:

$$P_j = \frac{\partial S_{действ}}{\partial S_j}$$
 Поток в фазовом пространстве обладает замечательной

особенностью: он несжимаем. Представим себе теперь, что каждая точка данного участка фазового пространства перемещается со временем согласно уравнений движения рассматриваемой производственной системы. Тем самым будет перемещаться и весь участок. При этом объем остается неизменным

$$\int dS_1 \cdot \dots \cdot dS_N \cdot dp_1 \cdot \dots \cdot dp_N = const$$

Это утверждение (так называемая теорема Лиувилля) вытекает из инвариантности фазового объема при канонических преобразованиях и

из того, что само изменение S_j и P_j при движении можно рассматривать, как каноническое преобразование. Теория ансамблей представляет для рассмотрения производственных систем очевидный интерес. Даже, если точные начальные значения производственной системы нам неизвестны, мы можем рассмотреть плотность и, используя усреднение по ансамблю, вычислить среднее значение любой характеристики производственной системы. Системы, состояния которых описывается в фазовом пространстве различными точками, обладают одним и тем же Гамильтонианом, подвержены действию одних и тех же связей, отличаются начальными состояниями, представляют собою ансамбль Гиббса.

Таблица №3. Сводная таблица характеристик тех. процесса

	Тип производства		
	Единичное	Серийное	Массовое
Определение типа производства	изготовлением изделий единицами или небольшими сериями по отдельным заказам. Повторяемость выпуска изделий либо отсутствует, либо нерегулярна и не влияет на особенности ведения производственного процесса.	номенклатура изготавливаемых изделий более стабильна и регулярно повторяется в программе выпуска; число выполняемых в цехах операций значительно превышает количество рабочих мест	узкая специализацией на выпуске ограниченной и устойчивой в течение длительного промежутка времени изделий, изготавливаемых на основе установленного плановым заданием суточного темпа выпуска продукции.
Главная задача	обеспечении своевременного изготов-	установление и обеспечение периодич-	организация и обеспечение

производственного процесса	ления изделий согласно заключенным договорам и равномерной загрузки производственных участков при наиболее коротком производственном цикле		ности изготовления изделий в соответствии с плановым заданием		движения обрабатываемых деталей и собираемых изделий по операциям в заданном темпе.
Система планирования производственного процесса	Позаказная	Комплектно-узловая	Групповая	По заделам	По темпу выпуска
Планово-учетная единица производственного процесса	Заказ	Комплект деталей	Цикловой комплект деталей	Условное изделие	Условное изделие
Исходные данные для планирования производственного процесса	Сроки начала и окончания этапов работ	Технологические маршруты обработки деталей	Технологические маршруты обработки деталей с указанием выполняемых операций, применяемого оборудования и норм выработки на обработку одной детали		
		Закрепление детали-операций за станками		Темп выпуска продукции и заделы незавершенной продукции	
		Размеры месячного производственного задания по детали каждого наименования		Годовой, квартальный, месячный, декадный план	
Основные макропоказатели производственного процесса	длительности производственного цикла		размера партий изготовления изделий		
	сроки календарных опережений в работе отдельных производственных подразделений		нормативный размер партий деталей и периодичность их изготовления		
	загрузка производственных площадей по календарным периодам				Темп (ритм, такт)
	загрузки оборудования по периодам		календарно – плановые опережения		
	плотность работ на протяжении производственного цикла ведущих деталей			Заделы	
Основные микропоказатели производственного процесса	Продолжительность отдельных процессов производственного цикла		Норматив среднего межоперационного времени обработки заготовки		
	Процентное соотношение выполнения этапа работ		Норма расхода сырья и материалов на отдельных операциях		
	Процентное соотношение освоения материалов на каждом этапе выполнения работ		Сменные нормы выполнения технологической операции		

Задачи оперативного учета производства	учет выработки и заработной платы	Контроль за соблюдением технологической дисциплины	учет и контроль выполнения планов
	учет выполнения сменных заданий	Сохранность количества деталей в производстве	состояния заделов и оперативного регулирования хода выполнения планов
	учет комплектации хода производства	учет движения деталей в производстве	контроль и регулирование движения деталей вдоль технологической цепочки
Единица оперативного учета	Заказ, шт. (Натуральное выражение)	норма-часы	Условное изделие
Типичные ограничения при планировании технологического процесса	по загрузке оборудования $K_{zo} = \frac{\Theta_o}{M_{оборуд}} < 1$	по загрузке оборудования $\sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot x_{ik} \leq \Phi_{jk} - \Delta\Phi_{jk}$	по темпу выпуска (по загрузке оборудования) $[\chi]_1 < [\chi]_{1ч}$
	по загрузке площадей $K_{zn} = \frac{\Theta_n}{M_{площад}} < 1$ по программе выпуска $\sum_{k=1}^n N_n \cdot t_{нед.об} \leq 8час$	по распределению выпуска $\sum_{i=1}^n C_i \cdot x_{ik} \leq \Theta_k - \Delta\Theta_k$ по программе выпуска $\sum_{k=1}^n x_{ik} \leq N_e$	по заделам вдоль технологической цепочки $[\chi]_0 > [\chi]_{0min}$

Таким образом, определившись с понятием базового продукта для конкретной производственной системы, перейдем к выбору координат фазового пространства рассматриваемых производственных систем.

Пример №1. В условиях крупносерийного и массового производства наблюдаемыми микроскопическими величинами технологического процесса при движении базового продукта от операции к операции являются расход сырья и материалов (СМ), затраты фонда оплаты труда (ФОТ) основных рабочих на операции, представленные в денежном выражении (грн), технологическое время выполнения операции, представленное в часах. Из этих наблюдаемых микроскопических величин может быть составлена комбинация :

$$\mu \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}} \right] = \frac{\text{расход СМ и ФОТ на конкретной операции обработки заготовки, грн}}{\text{время выполнение конкретной операции обработки заготовки, час}}$$

Эта комбинация может быть рассмотрена или как фазовая координата фазового пространства производственной системы, или как фазовая скорость соответствующей координаты производственной системы.

Величина $\mu \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}} \right]$ является наблюдаемой микроскопической величиной производственного процесса, представляет собой потребление элементом производственной системы сырья и материалов, фонда оплаты труда рабочего в единицу времени. Среднее значение величины $\mu \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}} \right]$ может быть найдено из нормативной документации цеха: норм расхода сырья и материалов, расценок на выполнение

операций, среднего времени выполнения операции, паспортных данных работы оборудования и т.д.. Параметру $\mu \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}} \right]$ должен отвечать другой наблюдаемый параметр производственной системы в виде величины

$\int \mu \cdot dt [\text{грн}]$ или величины $\frac{d\mu}{dt} \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}^2} \right]$. Из двух микроскопических величин $\int \mu \cdot dt [\text{грн}]$ и $\frac{d\mu}{dt} \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}^2} \right]$, естественной наблюдаемой величиной в ходе технологического процесса является микроскопическая величина $\int \mu \cdot dt [\text{грн}]$, представляющая собою стоимость затрат, перенесенных на предмет труда (базовый продукт).

Таким образом, микроскопические величины $\int \mu \cdot dt [\text{грн}]$ и $\mu \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}} \right]$ могут быть приняты в качестве фазовой координаты и соответствующей ей фазовой скорости. Если удастся ввести в рассмотрение функцию распределения базовых продуктов по скоростям изменения затрат, нормированную соответствующим образом

$$\int_0^{S_i} dS \cdot \int_0^{\infty} d\mu \cdot \chi(t, S, \mu) = N,$$

(N - количество базовых продуктов в производственном процессе), то может быть получена зависимость между собой микропараметров и макропараметров производственного процесса. Моменты функции распределения являются макропараметрами производственного процесса и имеют простую производственную интерпретацию:

нулевой $\int_0^{\infty} d\mu \cdot \chi(t, S, \mu) = [\chi]_0$ и первый $\int_0^{\infty} d\mu \cdot \mu \cdot \chi(t, S, \mu) = [\chi]_1 = \langle \mu \rangle \cdot [\chi]_0$

моменты функции распределения представляет собой величину и темп движения базовых продуктов вдоль технологической цепочки производственного процесса. Моменты более высокого порядка для описания производственной системы обычно не используются. Следует заметить, что макропараметры для описания производственной системы не являются независимыми величинами, а связаны между собой через микроскопический уровень производственной системы посредством функции распределения базовых продуктов по скоростям изменения затрат $\chi(t, S, \mu)$, вид которой определяется технологией изготовления базового продукта, видом и производительностью обрабатывающего оборудования и т.д.. Связь между собой макропараметров, описывающих производственный процесс через микроскопический уровень, является ключевым пунктом для построения модели функционирования производственной системы.

Пример №2. В качестве следующего варианта выбора фазовых координат в условиях крупносерийного и массового производства можно представить наблюдаемые микроскопические величины производственного процесса $S [\text{грн}]$ и $\tau [\text{час}]$ с соответствующими

им фазовыми скоростями $\mu = \frac{dS}{dt} \left[\frac{\text{грн}}{\text{час}} \right]$ и $\dot{\tau} = \frac{d\tau}{dt} \left[\frac{\text{час}}{\text{час}} \right]$. Координаты фазового пространства описывают технологию производства базового продукта через два микропараметра производственного процесса: нормы расхода ресурсов предприятия (сырья, материалов, фонда оплаты труда, электроэнергии и т.д.) и операционное время на рассматриваемой технологической операции. Введем в рассмотрение нормированную функцию распределения базовых продуктов по скоростям изменения затрат и операционного времени базового продукта:

$$\int_0^{S_d} dS \cdot \int_0^{\infty} d\mu \cdot \chi(t, S, \tau, \mu, \dot{\tau}) = N.$$

Нулевой $\int_0^{\infty} d\mu \cdot d\dot{\tau} \cdot \chi(t, S, \tau, \mu, \dot{\tau}) = [\chi]_0$ и первый $\int_0^{\infty} d\mu \cdot d\dot{\tau} \cdot \mu \cdot \dot{\tau} \cdot \chi(t, S, \tau, \mu, \dot{\tau}) = [\chi]$ моменты функции распределения представляет собой величину заделов и темп базовых продуктов вдоль технологической цепочки производственного процесса, не являются независимыми величинами, связаны между собой через микроскопический уровень. Рассмотренное фазовое пространство может быть расширено через дополнительные координаты, описывающие, например, процессы управления качеством изготовления продукции (t, K, \dot{K}) или выбором технологии изготовления продукции (t, T, \dot{T}) . Используя связь между собой микроскопических и макроскопических параметров производственных параметров через функцию $\chi(t, S, \tau, \mu, \dot{\tau})$, можно получить и другие макроскопические параметры производственной системы, необходимые для анализа

состояния производственных систем: $\int_0^{S_d} dS \cdot d\tau \cdot S \cdot [\chi]_0$,

$\int_0^{S_d} dS \cdot d\tau \cdot \tau \cdot [\chi]_0$ - объемы незавершенного производства, [грн] и затраченного операционного времени на изготовление продукции (количество затраченных нормо-часов), находящуюся в незавершенном производстве, [час].

Пример №3. Следующий вариант выбора фазовых координат для описания производственного процесса рассмотрим в условиях единичного или мелкосерийного производства. В качестве базового продукта выберем заказ. За наблюдаемую микроскопическую величину возьмем процент выполнения общего объема работ. Данная микроскопическая величина может быть записана в виде соотношения

$V_{\tau} = \frac{\tau}{\tau_d}$ или $V_S = \frac{S}{S_d}$, представляющая собою отношение времени τ , затраченного на выполнение работ по договору (суммы освоенных средств по договору S), к сроку выполнения работ по договору τ_d

(общей сумме средств к освоению по договору. Функцию распределения плотности вероятности выполнения работ $\chi(t, \tau, \dot{t})$ в течение срока действия договора τ_d , нормируем соответствующим

образом:
$$\int_0^{\infty} d\tau \cdot \int_0^{\infty} d\dot{t} \cdot \chi(t, \tau, \dot{t}) = \tau_d.$$
 Нулевой $[\chi]_0$ и первый $[\chi]_1$

моменты функции распределения представляет собой плотность и темп вероятности выполнения работ по этапам производственного цикла. Следует заметить, что для случая моделирования производственной системы единичного и мелкосерийного производства мы говорим не о функции распределения базовых продуктов по рассматриваемому случайному микроскопическому параметру, а о функции распределения плотности вероятности «рассматриваемого свойства» базового продукта.

Выводы

Рассмотрены особенности функционирования единичного, серийного и массового производства. Проведен анализ календарно-плановых нормативов производственного процесса, использование которых целесообразно при моделировании производственного процесса. Рассмотрен подход к выбору координат в модели производственного процесса. Показано, что теория ансамблей представляет для рассмотрения производственных систем очевидный интерес. При неизвестных точных начальных значениях микропараметров параметров производственной системы, используя усреднение по ансамблю базовых продуктов, может быть вычислено среднее значение любой характеристики производственной системы. Обращено внимание на то, что базовые продукты производственных систем представлять собою ансамбль Гиббса. Состояние элементов производственных систем описывается в фазовом пространстве различными точками. Сами же элементы обладают одним и тем же Гамильтонианом, подвержены действию одних и тех же связей, отличаются начальными состояниями.

Список использованных источников

1. Форрестер Дж., Основы кибернетики предприятия. - М.: Изд. "Прогресс" 1961г. 341стр.
2. Демуцкий В.П., Пигнастая В.С., Пигнастый О.М. Теория предприятия: Устойчивость функционирования массового производства и продвижения продукции на рынок. Х.: ХНУ, 2003 .-272стр
3. Летенко В.А., Родионов Б.Н. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием. Часть 2, Внутризаводское планирование. - М.: Высшая школа, 1979. - 232 с.
4. Демуцкий В.П., Пигнастая В.С., Пигнастый О.М. Стохастическое описание экономико-производственных систем с массовым выпуском продукции – Доповіді Національної академії наук України, 2005. –N7– С.66-71
5. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках: Пер. с англ. - М.: Наука. 1985. – 328

УДК 658.51.012

Об особенностях построения моделей, описывающих функционирование производственных систем авиационно-космической промышленности. Пигнастый О.М. – Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Вып. 43(4). Харьков: НАКУ, 2005. – с. 120-136.

Рассмотрены закономерности функционирования экономико-производственной системы с массовым выпуском продукции. Проведен анализ основных календарно-плановых нормативов предприятия с массовым выпуском продукции. Осуществлен сравнительный анализ различных типов производства. Показано, что теория ансамблей представляет для рассмотрения производственных систем практический интерес. Рассмотрено фазовое пространство для моделирования производственного процесса.

Ил. 14. Табл. 4. Библиогр.: 5.

Розглянуто закономірності функціонування економіко-виробничої системи з масовим випуском продукції. Проведено аналіз основних календарно-планових нормативів підприємства з масовим випуском продукції. Здійснено порівняльний аналіз різних типів виробництва. Показано, що теорія ансамблів представляє для розгляду виробничих систем практичний інтерес. Розглянуто фазовий простір для моделювання виробничого процесу.

Іл. 14. Табл. 4. Бібліогр.: 5.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет

ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ І ВИРОБНИЦТВА
КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

43(4) 2005

Національний аерокосмічний університет

ім. М.Є. Жуковського

"Харківський авіаційний інститут"

Україна, 61070, Харків – 70, вул. Чкалова, 17

**ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА
КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

43(4) декабрь 2005

Редактор Ивановская О.В.

Оригинал-макет изготовлен на кафедре авиационного материаловедения
Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

Подписано в печать 12.12.2005

Формат 60x84 1/16 Бумага офс. №2. Офс. печать.

Условн.-печатн. лист. 7,9. Учет.-изд. лист. 8,9 Т. 200 экз.

Национальный аэрокосмический университет

им. Н.Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт»

Украина, 61070, Харьков – 70, ул. Чкалова, 17

Отпечатано в типографии АНТК «Антонов»

03062, Киев, ул. акад. Туполева, 1, зак. 326