

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Технологическое оборудование»

А. И. Кочергин  
Т. Н. Бабак

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Пособие для студентов специальности  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск  
БНТУ  
2021

УДК 621.9.06  
ББК 34.63  
К75

**Р е ц е н з е н т ы:**

заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
УО «Гомельский государственный технический университет  
им П. О. Сухого», д-р техн. наук, профессор *М. И. Михайлов*;  
заместитель генерального конструктора ОАО «МЗОР»  
*И. И. Шумский*

**Кочергин, А. И.**

К75 Проектирование технологической системы: пособие для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / А. И. Кочергин, Т. Н. Бабак. – Минск: БНТУ, 2021. – 46 с.  
ISBN 978-985-583-207-3.

В пособии приводятся теоретические основы проектирования технологической системы, излагается методика расчета конкурентоспособности проектируемого оборудования и прогнозирование надежности изделий, состоящих из унифицированных элементов.

**УДК 621.9.06**  
**ББК 34.63**

**ISBN 978-985-583-207-3**

© Кочергин А. И., Бабак Т. Н., 2021  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2021

## Общие сведения о проектировании технологических систем

В соответствии с ГОСТ 27.004-85 «Системы технологические» технологической системой называют совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Подсистемой технологической системы называют технологическую систему, выделяемую по функциональному или структурному признаку из технологической системы более высокого уровня.

Следует различать четыре *иерархических уровня* технологических систем:

- технологические системы *операций* – обеспечивают выполнение одной заданной технологической операции;

- технологические системы *процессов* – включают в себя в качестве подсистем совокупность технологических систем операций, относящихся к одному методу (обработки, формообразования, сборки или контроля);

- технологические системы *производственных подразделений* – состоят из технологических систем процессов и (или) операций, функционирующих в рамках данного подразделения;

- технологические системы *предприятия* – состоят из технологических систем его производственных подразделений.

По *уровню автоматизации*:

- механизированная технологическая система – технологическая система, средства технологического оснащения которой состоят из механизированно-ручных и механизированных технических устройств;

- автоматизированная технологическая система – технологическая система, средства технологического оснащения ко-

торой состоят из автоматизированно-ручных и автоматизированных технических устройств;

– автоматическая технологическая система – технологическая система, средства технологического оснащения которой состоят из автоматических устройств.

*По уровню специализации:*

– специальная технологическая система – система, предназначенная для изготовления или ремонта изделия одного наименования и типоразмера;

– специализированная технологическая система – система, предназначенная для изготовления или ремонта группы изделий с общими конструктивными или технологическими признаками;

– универсальная технологическая система – система, обеспечивающая изготовление изделий с различными конструктивными и технологическими признаками.

## Практическая работа № 1

### АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

**Цель работы:** ознакомление с техническими характеристиками токарных и многоцелевых токарных станков с ЧПУ, а также установление связей между их параметрами.

#### Содержание работы

1. В табл. 1.1 внести параметры технических характеристик 25...30 современных станков разных изготовителей.

Таблица 1.1

#### Параметры технической характеристики

ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)			
Функциональные возможности	Наибольший диаметр обработки над станиной, мм				
	Наибольший диаметр обработки над суппортом, мм				
	Максимальная длина обработки, мм				
	Тип привода				
Шпиндель	Максимальная частота вращения, об/мин				
	Максимальная мощность $P$ , кВт				
	Максимальный момент $M$ , Н×м при $n$ , об/мин				
	Тип торца шпинделя				
	Диаметр шейки шпинделя в передней опоре $d$ , мм				

ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)			
Шпиндель	Диаметр отверстия, мм				
	Главная составляющая максимальной силы резания, Н				
	Смазывание подшипниковых опор				
	Охлаждение передней опоры				
Приводы движения по координатам	Перемещение по оси $X$ , мм				
	Перемещение по оси $Z$ , мм				
	Скорость подачи по $X$ , мм/мин				
	Скорость подачи по $Z$ , мм/мин				
	Скорость быстрых движений по $X/Z$ , мм/мин				
	Максимальная осевая нагрузка по оси $X$ , Н				
	Максимальная осевая нагрузка по оси $Z$ , Н				
Револьверная головка	Количество инструментов/приводов				
	Момент электродвигателя, Н×м				
	Время поворота на соседнюю позицию				
Точность позиционирования					

2. Вычислить значения характеристик станка и шпиндельного узла. Занести их в табл. 1.2. Принятые обозначения параметров:

- $D$  – максимальный диаметр обработки, мм;
- $P$  – максимальная номинальная мощность двигателя главного привода, кВт;
- $n$  – максимальная частота вращения шпинделя, об/мин;
- $d$  – диаметр шейки шпинделя в передней опоре, мм;
- $j$  – жесткость шпиндельного узла, Н/мкм.

Таблица 1.2

## Характеристики станков и шпиндельных узлов

Наименование характеристики	Зависимость для вычисления характеристики	Модель станка (изготовитель)			
Производительность резания	$K_1 = 10^{-7} P \times D \times n$				
Удельная нагруженность станка	$K_2 = \frac{P}{D}$				
Скоростные возможности станка	$K_3 = 10^{-5} D \times n$				
Удельная нагруженность опор шпинделя	$K_4 = \frac{P}{d}$				
Быстроходность шпиндельного узла	$K_5 = 10^{-5} d \times n$				
Работоспособность шпиндельного узла	$K_6 = 10^{-4} j \times d \times n$				

3. Сделать выводы о конструктивных особенностях современных станков (тип торца шпинделя, тип привода шпинделя, способ смазывания опор, способы охлаждения передней опоры и др.).

4. Сделать выводы о диапазонах, в которых находятся технические характеристики станка.

5. Найти зависимости между основными техническими характеристиками станков различных производителей:

- зависимость максимальной мощности (момента) на шпинделе от максимального диаметра обработки над станиной;

- зависимость максимальной мощности на шпинделе от максимальной частоты вращения шпинделя;

- зависимость производительности резания от мощности;

- зависимость удельной нагруженности станка от мощности главного привода;

– зависимость максимальной скорости перемещения привода подач от максимальной частоты вращения шпинделя.

6. Выявить процентные соотношения станков

- с определенной наибольшей частотой вращения шпинделя;
- типом главного привода;
- типом смазывания опор;
- типом торца шпинделя.

7. Построить диаграммы, на которых указать разными маркерами сведения, относящиеся к различным производителям станков.

8. Сделать выводы о техническом уровне станков различных производителей.

В ходе лабораторной работы используется дополнительная литература [1–3].



## Практическая работа № 2

### АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

**Цель работы:** ознакомление с техническими характеристиками многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков и установление связей между ними.

#### Содержание работы

1. В табл. 2.1 внести параметры технических характеристик 25...30 современных станков разных изготовителей.

Таблица 2.1

#### Параметры технической характеристики

ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)			
Перемещение по осям, мм	X				
	Y				
	Z				
Стол	Длина, мм				
	Ширина, мм				
	Максимальная нагрузка, кг				
Шпиндель	Система привода				
	Конус				
	Максимальная частота вращения, об/мин				
	Расчетная частота, об/мин				
	Максимальная мощность двигателя, кВт				

ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)			
Шпиндель	Максимальный крутящий момент, Н×м				
	Смазывание подшипниковых опор				
	Охлаждение опор				
Приводы движения по осям	Максимальная нагрузка по осям <i>X/Y/Z</i> , Н				
	Скорость установочных движений по осям <i>X/Y/Z</i> , м/мин				
	Максимальная скорость подачи по осям <i>X/Y/Z</i> при резании, м/мин				
Устройство смены инст- рументов	Тип накопителя				
	Вместимость				
	Максимальный диаметр инстру- мента, мм				
	Максимальная масса инструмен- та, кг				
	Время смены инструмента (сред- нее), с				
	Время от стружки до стружки (среднее), с				
Устройство смены заго- товок	Схема				
	Метод смены паллет				
	Количество паллет				
Точность	Точность позиционирования				
	Повторяемость				
Разное	Масса станка, кг				
	Габаритные размеры станка, мм				

2. Вычислить значения характеристик станка и шпиндельного узла. Занести их в табл. 2.2. Принятые обозначения параметров:

- $B$  – ширина стола, мм;
- $P$  – максимальная номинальная мощность двигателя главного привода, кВт;
- $n$  – максимальная частота вращения шпинделя, об/мин;
- $d$  – диаметр шейки шпинделя в передней опоре, мм.

Таблица 2.2

### Характеристики станков и шпиндельных узлов

Наименование характеристики	Зависимость для вычисления характеристики	Модель станка (изготовитель)			
Производительность резания	$K_1 = 10^{-7} P \times b \times n$				
Удельная нагруженность станка	$K_2 = \frac{P}{B}$				
Скоростные возможности станка	$K_3 = 10^{-5} B \times n$				
Удельная нагруженность опор шпинделя	$K_4 = \frac{P}{d}$				
Быстроходность шпиндельного узла	$K_5 = 10^{-5} d \times n$				

3. Сделать выводы о конструктивных особенностях современных станков (типы приводов главного движения, типы конуса шпинделя, способы смазывания подшипников, способы охлаждения опор и т. д.).

4. Сделать выводы о диапазонах, в которых находятся технические характеристики станка.

5. Найти зависимости между основными техническими характеристиками:

- зависимость максимальной мощности (момента) на шпинделе от ширины стола;

- зависимость максимальной мощности на шпинделе от максимальной частоты вращения шпинделя;
- зависимость производительности резания от мощности;
- зависимость удельной нагруженности станка от мощности главного привода;
- зависимость максимальной скорости перемещения привода подачи от максимальной частоты вращения шпинделя.

6. Сделать выводы о техническом уровне станков различных производителей.

7. Выявить процентные соотношения станков:

- с определенной наибольшей частотой вращения шпинделя;
- типом главного привода;
- типом смазывания опор;
- типом торца шпинделя.

8. Построить диаграммы, на которых указать разными маркерами сведения, относящиеся к различным производителям станков.

9. Сделать выводы о техническом уровне станков различных производителей.

В ходе лабораторной работы используется дополнительная литература [1–4].

## Практическая работа № 3

### ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО СТАНКА МЕТОДОМ РАСЧЕТА ЕДИНИЧНЫХ И ГРУППОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Цель работы:** научиться рассчитывать интегральный показатель конкурентоспособности; на основе анализа результатов расчета сделать вывод о конкурентоспособности проектируемого станка.

#### Теоретические сведения

Конкурентоспособность товара характеризует степень ответственности его свойств определенным рыночным потребностям (потребностям потребителя). Конкурентоспособным считается товар, у которого *совокупный полезный эффект* на единицу затрат выше, чем у остальных, и при этом величина ни одного из критериев не является неприемлемой для потребителя [8, 9].

Оценка конкурентоспособности выполняется в несколько этапов.

На первом этапе выбирается базовая модель станка для сравнения с проектируемым станком. В качестве базы для сравнения может служить лучший из уже существующих на целевом рынке или в мире товаров-конкурентов, или более совершенный образец, появление которого ожидается в ближайшем будущем, или некоторый абстрактный эталон.

На втором этапе выделяются наиболее значимые для потребителя критерии. Они делятся на две группы: потребительские и экономические. Первые включают в себя такие характеристики товара, как производительность, габариты, экологическая безопасность, надежность и т. д., вторые – цену товара, затраты на транспортировку, монтаж и эксплуатацию, что в целом составляет цену потребления. Если технические пара-

метры продукции не имеют количественной оценки, для придания этим параметрам количественных характеристик используются экспертные методы оценки в баллах. Значение критерия у базовой модели обозначим  $P_b$ , а у проектируемого станка –  $P$ .

На третьем этапе по каждому критерию рассчитывается единичный показатель конкурентоспособности  $q_i$ . Если увеличение значения критерия влечет за собой повышение качества, то

$$q_i = \frac{P_i}{P_{bi}}, \quad (3.1)$$

а если его снижение, то

$$q_i = \frac{P_{bi}}{P_i}. \quad (3.2)$$

На четвертом этапе внутри первой группы критериев производят ранжирование показателей по степени их значимости для потребителя и в соответствии с этим присваивают им коэффициенты весомости  $a_i$ , рассчитанные по следующей формуле:

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}}, \quad (3.3)$$

где  $x_{ij}$  – оценка  $i$ -го свойства  $j$ -м экспертом;

$m$  – количество экспертов;

$n$  – количество свойств.

На пятом этапе проводится расчет сводного параметрического индекса конкурентоспособности как группового показателя по формуле

$$Q_p = \sum_{i=1}^n q_i a_i. \quad (3.4)$$

На шестом этапе для базовой модели и проектируемого станка рассчитывается экономический показатель, который учитывает единовременные затраты, связанные с приобретением станка, а также эксплуатационные затраты по каждой статье; величины экономических параметров (размер издержек) складываются из цены станка  $C_1$ , расходов на его транспортировку  $C_2$ , установку  $C_3$ , эксплуатацию  $C_4$ , ремонт  $C_5$ , техническое обслуживание  $C_6$ , обучение персонала  $C_7$ , налогов  $C_8$ , страховых взносов  $C_9$ . В сумме эти расходы составляют цену потребления  $C$ , т. е. объем средств, необходимых в течение всего срока эксплуатации станка:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_9. \quad (3.5)$$

На седьмом этапе рассчитывается сводный экономический индекс конкурентоспособности  $Q_e$  по формуле

$$Q_e = \frac{C}{C_b}, \quad (3.6)$$

где  $C$  и  $C_b$  – цены потребления для проектируемого станка и базовой модели соответственно.

На восьмом этапе рассчитывается интегральный показатель конкурентоспособности  $K$  по формуле

$$K = \frac{Q_p}{Q_e}. \quad (3.7)$$

Экономический смысл интегрального показателя конкурентоспособности заключается в том, что на единицу затрат потребитель получает  $K$  единиц полезного эффекта. Если  $K > 1$ , то уровень качества выше уровня затрат и проектируемый станок является конкурентоспособным, если  $K < 1$  – неконкурентоспособным на данном рынке.

### Выполнение работы

1. Выбрать базовую модель для сравнения с проектируемым станком.
2. Определить наиболее значимые технические параметры для сравнения и занести их в табл. 3.1.
3. По каждому критерию рассчитать единичный показатель конкурентоспособности  $q_i$  по формулам (3.1) или (3.2).
4. Произвести ранжирование показателей по степени их значимости для потребителя и определить коэффициент весомости  $a_i$  для каждого параметра по формуле (3.3).

Таблица 3.1

Параметры сравниваемых станков

Наименование параметра для сравнения	Значение параметра для проектируемого станка $P$	Значение параметра для базовой модели $P_b$	Единичный показатель конкурентоспособности $q_i$	Оценка экспертов (баллы)		Коэффициент весомости параметра $a_i$
				$x_{i1}$	$x_{i2}$	
1	2	3	4	5	6	7
Наибольшая частота вращения шпинделя $n$ , мин <sup>-1</sup>						
Мощность двигателя $N$ , кВт						
Наибольший крутящий момент на шпинделе $M$ , Н×м						



Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
Наибольшая скорость подачи по осям при резании $S$ , м/мин						
Скорость установочных движений по осям, м/мин						
Наибольшая нагрузка по осям $X/Y/Z$ , Н						
Масса станка, кг						
Габаритные размеры, мм						
Емкость инструментального магазина						
Время смены инструмента (среднее), с						

5. Рассчитать сводный параметрический индекс конкурентоспособности по потребительским свойствам  $Q_p$  по формуле (3.4).

6. Рассчитать сводный экономический индекс конкурентоспособности  $Q_e$  по формуле (3.6).

7. Рассчитать интегральный показатель конкурентоспособности  $K$  по формуле (3.7).

8. Сделать вывод о конкурентоспособности проектируемого станка.

В ходе лабораторной работы используется дополнительная литература [5–8].

## Практическая работа № 4

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ, СОСТОЯЩИХ ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Цель работы:** изучить методику определения показателей надежности станка.

#### Теоретические сведения

*Работоспособное состояние* технологической системы – это состояние технологической системы, при котором значения параметров и (или) показателей качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторско-технологической документации.

К *параметрам производительности* относятся номинальная и цикловая производительности, штучное время и т. д.

К *параметрам материальных и стоимостных затрат* относятся расход сырья, материалов, энергии, инструментов, стоимость технического обслуживания и ремонта и т. д.

*Неработоспособное состояние* технологической системы – состояние технологической системы, при котором значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторско-технологической документации.

#### *Отказы технологических систем*

1. По характеру нарушения работоспособности.

*Функциональный* отказ технологической системы – отказ технологической системы, в результате которого наступает

прекращение ее функционирования, не предусмотренное регламентированными условиями производства или в конструкторской документации. Функциональный отказ технологической системы проявляется в полном или частичном прекращении ее функционирования. Примером частичного прекращения функционирования может служить поломка одного из инструментов при обработке деталей на автоматической линии. При этом может продолжаться выпуск продукции, но без обработки соответствующих поверхностей детали. К функциональным отказам следует относить и факты превышения сроков запланированных перерывов в работе, т. е. превышение регламентированного времени смены инструмента, установки заготовки, заданных перерывов на отдых обслуживающего персонала и т. д.

*Параметрический* отказ технологической системы – отказ технологической системы, при котором сохраняется ее функционирование, но происходит выход значений одного или нескольких параметров технологического процесса за пределы, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации. Параметрический отказ технологической системы выражается в выходе параметров функционирования отдельных ее элементов за допустимые пределы. Например, выход значений показателей точности размеров за поле допуска на обработку; снижение ритма выпуска ниже заданного уровня; нерегламентированное изменение режимов обработки; превышение материальных и трудовых затрат; недопустимое загрязнение окружающей среды, причиной которого является процесс функционирования рассматриваемой системы и т. д.

2. По наличию связи с другими объектами.

*Собственный* отказ технологической системы – отказ технологической системы, вызванный нарушением работоспособного состояния ее элементов и (или) функциональных связей между ними.

*Вынужденный* отказ технологической системы – отказ технологической системы, вызванный нарушением регламентированных для этой системы условий производства.

3. По параметрам и показателям качества.

Отказ технологической системы *по параметрам продукции* – отказ технологической системы, в результате которого значение хотя бы одного параметра или показателя качества изготавливаемой продукции не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

Отказ технологической системы *по производительности* – отказ технологической системы, в результате которого значение хотя бы одного параметра или показателя качества изготавливаемой продукции не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

Отказ технологической системы по затратам – отказ технологической системы, в результате которого значение хотя бы одного параметра материальных или стоимостных затрат не соответствует значениям, установленным в технической документации.

### **Типы элементов изделий**

Изделия машиностроения состоят из элементов, которые по уровню надежности можно разделить на четыре группы [12]:

- элементы, отказы которых не влияют на работоспособность изделия (пример: деформация защитного кожуха);
- элементы, вероятность безотказной работы которых на рассматриваемом интервале времени практически равна единице (примеры: станины, малонагруженные детали, гидростатические и гидродинамические подшипники);
- элементы, которые можно ремонтировать или регулировать, не снижая эффективности технологической системы;
- элементы, отказы которых приводят к отказам изделия.

При анализе, расчете и прогнозировании надежности изделия следует учитывать элементы только четвертой группы.

Элементы изделия можно разделить на независимые и зависимые. Независимые элементы характеризуются тем, что отказ любого из них или их группы не влияет на вероятность отказа других элементов. Зависимые элементы характеризуются тем, что их отказы приводят к изменению вероятности отказов других элементов.

### **Типы структур технологических систем**

Различают следующие *типы структур* технологических систем:

– последовательная технологическая система – технологическая система, все подсистемы которой последовательно выполняют различные части заданного технологического процесса;

– параллельная технологическая система – технологическая система, подсистемы которой параллельно выполняют заданный технологический процесс или заданную технологическую операцию;

– комбинированная технологическая система – технологическая система, структура которой может быть представлена в виде объединения последовательных и параллельных систем более низкого уровня;

*по виду связи подсистем:*

– технологическая система с жесткой связью подсистем – технологическая система, в которой отказ хотя бы одной подсистемы вызывает немедленное прекращение функционирования всей системы в целом;

– технологическая система с нежесткой связью подсистем – технологическая система, в которой отказ одной из подсистем не вызывает немедленного прекращения функционирования всей системы в целом.

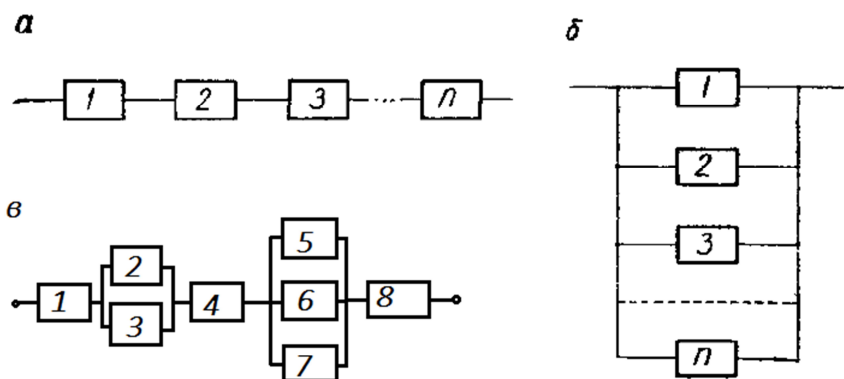


Рис. 4.1. Виды технологических систем:  
*a* – с последовательной связью элементов; *б* – с параллельной  
 связью элементов; *в* – комбинированная

Продукция параллельной технологической системы равна сумме продукции всех составляющих ее элементов. Характерной особенностью технологических систем с *последовательной связью* является то, что выпуск продукции такой системы определяется ее лимитирующим звеном. Результат труда одних составляющих сложной системы может быть предметом труда, орудием или средством труда для других составляющих, а может и не быть использован в производстве какими-то составляющими. Подсистемы параллельной технологической системы могут содержать общие средства технологического оснащения.

### **Общая схема прогнозирования надежности последовательной системы независимых элементов**

Основные этапы прогнозирования надежности изделий следующие:

1. Изделие делят на элементы, выявляемые по его чертежам, а также по кинематическим, электрическим и гидравлическим схемам.

В одних методиках расчета станков и станочных систем в качестве элементов приняты их крупные узлы: силовые столы, поворотно-делительные столы, инструментальные бабки и другие [10]. В других методиках [11] элементами считают небольшие узлы и комплектующие изделия: зубчатую передачу, подшипник качения, насос, дроссель и другие.

2. В результате статистической обработки данных об отказах находящегося в эксплуатации аналогичного оборудования находят показатели надежности каждого типа. Если требуется, для получения таких показателей проводят дополнительно экспериментальные исследования.

3. По статистическим значениям показателей надежности элементов, их количеству и структуре изделия вычисляют показатели его надежности.

Прогнозные оценки надежности можно получать на ранней стадии проектирования изделий. Эти оценки используются при принятии решения о целесообразности создания изделия, его экономической эффективности и системе эксплуатации.

### **Прогнозирование надежности агрегатного станка**

Агрегатный станок komponуется в основном из унифицированных узлов, имеющих индивидуальные приводы и связанных между собой системой управления. Основными унифицированными узлами являются силовые головки, силовые столы, поворотные делительные столы, базовые детали, станции гидропривода, станции смазывания, инструментальные бабки и другие.

Агрегатные станки характеризуются не только высокой производительностью, но и высоким уровнем надежности, который обусловлен тем, что унифицированные узлы этих станков хорошо отработаны как в лабораторных, так и в производственных условиях. С позиций надежности агрегатный станок представляет собой последовательную структуру, так как отказ любого элемента сопровождается отказом станка (рис. 4.1, а).

Для количественной характеристики надежности агрегатных станков используются следующие показатели:

– параметр потока отказов  $\omega$  – среднее число отказов в единицу времени;

– удельная длительность восстановления  $B$  – время восстановления, приходящееся на одну минуту бесперебойной работы станка:

$$B = T_B / T;$$

где  $T_B$  – среднее время восстановления станка;

$T$  – наработка на отказ.

Коэффициент готовности:

$$K_r = \frac{T}{T + T_B} = \frac{1}{1 + \frac{T_B}{T}} = \frac{1}{1 + B}.$$

Путем анализа частоты отказов и длительности простоев в условиях эксплуатации для каждого унифицированного элемента были определены средние величины параметра потока отказов  $\omega_i$  и удельной длительности восстановления  $B_i$ . Одни узлы действуют циклически, и показатели их надежности отнесли к одному циклу. Другие узлы работают непрерывно, и показатели их надежности приходятся на одну минуту бесперебойной работы станка. Значения показателей надежности узлов агрегатных станков и автоматических линий, изготавливаемых Минским заводом автоматических линий [10], приведены в табл. 4.1 и 4.2.



Таблица 4.1

Показатели надежности циклически действующих узлов агрегатных станков и автоматических линий МЗАЛ

Наименование узла	$\omega \cdot 10^3$ , 1/цикл	$V \cdot 10^3$ , мин/цикл
Силовой стол с многошпиндельной коробкой	0,143	0,300
Силовой стол с подрезно-расточной или фрезерной бабкой	0,200	0,800
Приспособление для фиксации и зажима заготовок средней сложности	0,139	1,000
Приспособление для фиксации и зажима заготовок со сложными механизмами или для точной обработки	0,278	2,000
Быстросменный патрон с удлинителем для крепления сверл, зенкеров, разверток, метчиков	0,001	0,002
Электрооборудование одного станка	0,100	0,750
Гидрооборудование одного станка (без насосной установки)	0,200	1,740

Таблица 4.2

Показатели надежности непрерывно действующих узлов агрегатных станков и автоматических линий МЗАЛ

Наименование узла	$\omega \cdot 10^3$ , 1/цикл	$V \cdot 10^3$ , мин/цикл
Система охлаждения режущего инструмента без резервной насосной установки	0,400	0,200
Насосная установка гидростанции	0,010	0,100

Прогнозируемый параметр потока отказов проектируемого станка:

$$\omega = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^n \omega_i + \sum_{j=1}^m \omega_j.$$

Прогнозируемая удельная длительность восстановления станка:

$$B = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^n B_i + \sum_{j=1}^m B_j,$$

где  $\tau$  – длительность рабочего цикла станка;

$n$  – число узлов, работающих циклически;

$m$  – число узлов, работающих непрерывно.

В каждой зависимости первая сумма относится к узлам, работающим циклически, вторая – к узлам, работающим непрерывно.

### Задание

На стадии проектирования необходимо найти прогнозную оценку показателей надежности агрегатного станка (рис. 4.2).

Станок является изделием единичного производства разового изготовления. К средней станине 2 крепятся три боковые станины 1, 3 и 10. На каждой из двух боковых станин закреплен силовой стол 4 с угольником 5, шпиндельной коробкой 6, плитой кондукторной 14. На третьей боковой станине 1 закреплен подкатной стол 13 с резьбонарезной установкой. На станине средней 2 закреплен 4-позиционный делительный поворотный стол 9 с приспособлениями 7.

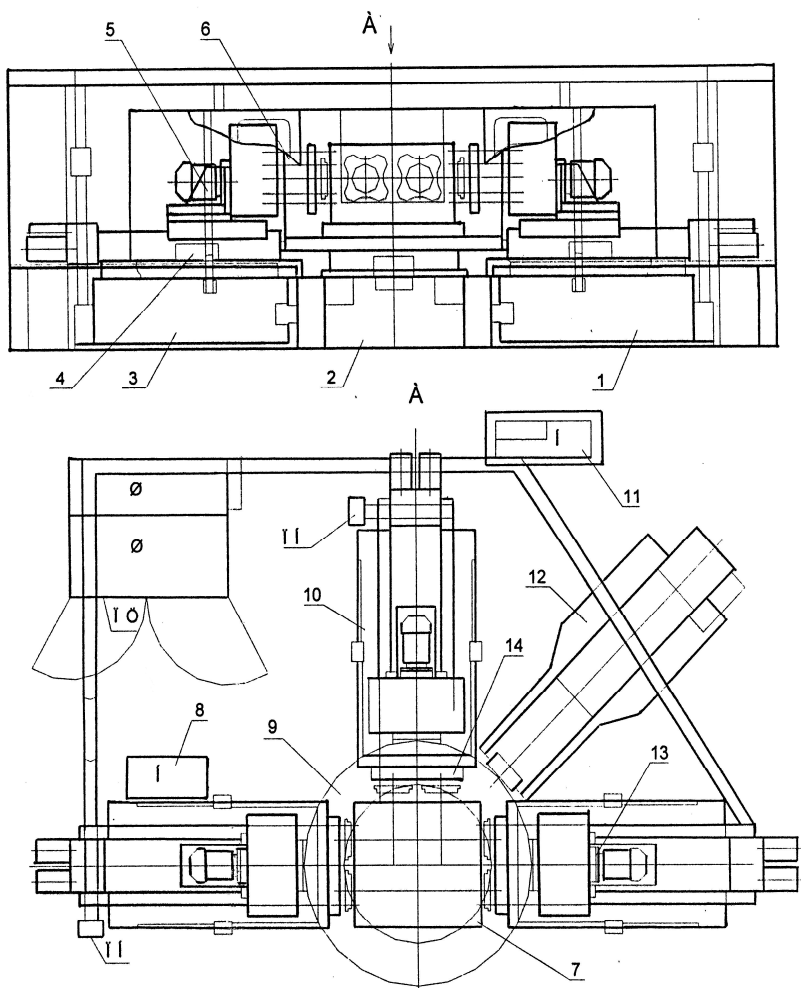


Рис. 4.2. Агрегатный станок последовательного действия

Двухместное 4-позиционное приспособление предназначено для базирования и зажима заготовок. Заготовка устанавливается в приспособление вручную. Дополнительно зажим заготовки осуществляется двумя байонетными Г-образными прихватами. Выставка силовых узлов и приспособления производится по кондукторным плитам, установленным на при-

способлении, и шаблонам. Станок оснащен двумя насосными установками 8 и 11.

Система управления микропроцессорная электронная на базе ПК фирмы Siemens. Схема обеспечивает работу станка в полуавтоматическом и наладочном режимах.

Стружка при обработке вместе с СОЖ попадает в стружко-сборник поворотного стола, откуда по наклонному лотку 12 в отстойник, который снабжен скребковым транспортером. Транспортер пересыпает стружку в тару заказчика.

Количество одновременно обрабатываемых деталей – 2. Количество позиций – 4. Количество шпинделей – 32. Длительность цикла работы станка – 5 мин.

Пользуясь описанием станка и табл. 4.1 и 4.2, определить показатели надежности станка: параметр потока отказов  $\omega$ ; удельную длительность восстановления  $B$  и коэффициент готовности  $K_T$ . Последовательность расчета представить в виде заполненных табл. 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3

Данные для расчета показателей надежности циклически действующих узлов станка

Наименование узла	Количество узлов $n_i$	Значение показателей надежности			
		одного узла		группы узлов	
		$\omega \cdot 10^3$ , 1/цикл	$B \cdot 10^3$ , мин/цикл	$n_i \cdot \omega \cdot 10^3$ , 1/цикл	$n_i \cdot B \cdot 10^3$ , мин/цикл

Таблица 4.4

Данные для расчета показателей надежности непрерывно действующих узлов станка

Наименование узла	Количество узлов $n_i$	Значение показателей надежности			
		одного узла		группы узлов	
		$\omega \cdot 10^3$ , 1/цикл	$B \cdot 10^3$ , мин/цикл	$n_i \cdot \omega \cdot 10^3$ , 1/цикл	$n_i \cdot B \cdot 10^3$ , мин/цикл

## Практическая работа № 5

### ПОСТРОЕНИЕ ЦИКЛОГРАММЫ РАБОТЫ АВТООПЕРАТОРА СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТОВ

**Цель работы:** научиться определять оптимальные скорости перемещения механизмов автооператора и время каждого движения; построить циклограмму работы автооператора.

#### Теоретические сведения

При создании промышленных роботов (ПР) новых конструкций определенного технологического назначения необходимо:

- определить уровень специализации, т. к. это оказывает существенное влияние на конструктивную сложность робота;

- исходя из размеров пространства, которое должен обслуживать ПР, необходимо выбрать его структурную кинематическую схему и назначить горизонтальные и вертикальные перемещения, а также углы поворота руки;

- определить допустимые скорости перемещения манипулируемого объекта при получении заданной точности позиционирования;

- выбрать тип приводов механизмов и захватного устройства ПР, рассчитать и выбрать конструктивные размеры всех механизмов, а также рассчитать жесткость и динамическую устойчивость разработанной конструкции.

В большинстве ПР, автооператоров, устройств автоматической смены инструмента используется закон движения, близкий к трапецеидальному (рис. 5.1). При ограничении скорости  $v$  и ускорений при разгоне  $a_p$  и торможении  $a_t$ , соответствующих трапецеидальному закону изменения скорости, уменьшаются габариты привода и затраты энергии, снижаются ударные нагрузки на механизмы привода и увеличивается его долговечность.

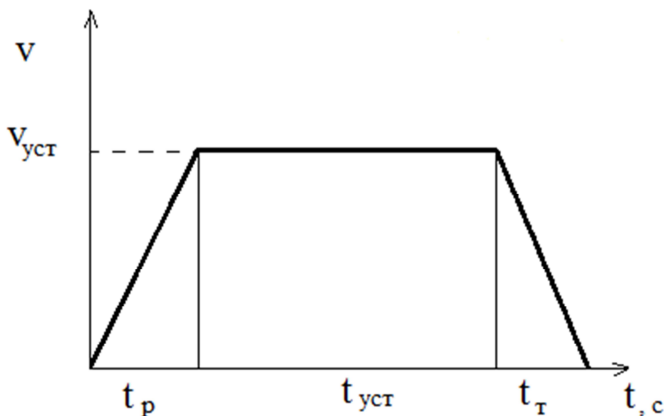


Рис. 5.1. Трапецеидальный закон движения рабочего органа

Если вращательное движение рассматривать приведенным к радиусу расположения объекта манипулирования  $R$ , то расчетные формулы как для вращательного, так и для поступательного движения становятся идентичными, т. е. в случае вращательного движения

$$l = \frac{2\pi R\alpha}{360^\circ},$$

где  $R$  – радиус расположения объекта манипулирования, мм;

$\alpha$  – угол поворота исполнительного органа, град.

Верно соотношение

$$\frac{v_{\text{опт}}}{\sqrt{a_T l}} = 0,5 \dots 0,6.$$

Следовательно, оптимальную скорость установившегося движения исполнительного механизма манипулятора можно определить по формуле

$$v_{\text{опт}} = (0,5 \dots 0,6) \sqrt{a_T l}.$$

Оптимальная скорость зависит от длины хода  $l$ : при малых перемещениях не требуется высоких скоростей движений; с увеличением длины хода значение  $v_{\text{опт}}$  возрастает. Оптимальные значения скорости поступательного движения рабочих органов манипуляторов обычно находятся в пределах от 0,4 до 1,2 м/с.

Номинальное значение ускорения ограничивается уровнем колебаний механизма привода, которые возникают при переходных процессах. При малых ходах  $l = 0,15 \dots 0,3$  м номинальное ускорение  $a_T = 5 \dots 6 \text{ м/с}^2$ , при больших ходах  $l = 0,7 \dots 0,8$  м,  $a_T = 10 \dots 12 \text{ м/с}^2$ .

Общее время  $t$  отдельного движения определяется по формуле

$$t = \sqrt{\frac{l}{a_T}} \frac{1 + k_a (v / \sqrt{a_T l})^2}{v / \sqrt{a_T l}},$$

где  $l$  – длина перемещения, м;

$v$  – скорость установившегося равномерного движения, м/с;

$a_T$  – модуль ускорения при торможении,  $\text{м/с}^2$ ;

$k_a$  – коэффициент, зависящий от соотношения ускорения при разгоне  $a_p$  и торможении  $a_T$ .

Если принять  $a_p = a_T$ , то коэффициент  $k_a$  будет равен 1.

Таблица 5.1

### Варианты индивидуальных заданий

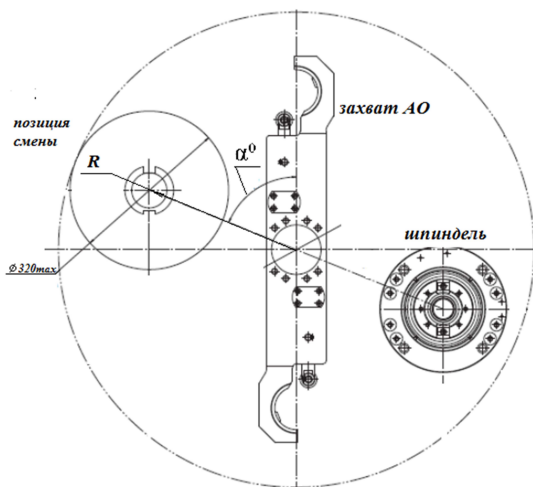
№ варианта	Параметры				
	$\alpha$ , град	$l$ , мм	$R$ , мм	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг
1	85	150	280	10	16
2	78	115	182	12	14
3	90	112	186	9	11,5
4	68	140	188	8	6
5	70	144	192	14	5

№ варианта	Параметры				
	$\alpha$ , град	$l$ , мм	$R$ , мм	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг
6	65	100	194	11	7,4
7	78	120	198	7	13,2
8	72	118	200	13	10,1
9	80	180	212	15	8,8
10	84	156	216	6	6,4
11	75	248	218	5	10
12	64	282	222	16	11
13	82	96	242	5,5	7
14	66	120	250	10,3	9
15	74	195	300	17	9,8
16	58	258	320	8,7	12,2
17	63	237	290	7,5	13
18	60	160	195	13,6	7,7

Цикл работы автооператора:

- подвод шпиндельной бабки в позицию смены инструмента  $t = 0,5$  с;
- поворот автооператора на  $\alpha^\circ$ ;
- захват инструмента из магазина, захват инструмента из шпинделя  $t = 0,3$  с;
- выдвижение автооператора на расстояние  $l$ ;
- поворот автооператора на  $180^\circ$ ;
- движение автооператора к стойке на расстояние  $l$ , установка инструмента в шпиндель и в ИМ;
- поворот автооператора на  $\alpha^\circ$ ;
- отвод шпиндельной бабки в рабочую позицию  $t = 0,5$  с.





В ходе лабораторной работы используется дополнительная литература [12–13].

## Литература

1. Проников, А. С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник: в 3 т. / под ред. А. С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – Т. 1: Проектирование станков. – С. 269–272.
2. Тарзиманов, Г. А. Проектирование металлорежущих станков / Г. А. Тарзиманов. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.
3. Погонин, А. А. Обоснование технических характеристик и кинематический расчет проектируемого металлорежущего станка: учебное пособие / А. А. Погонин. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. – 160 с.
4. Трубин, В. Е. Проектирование фрезерных станков. Обоснование технической характеристики: учебное пособие / В. Е. Трубин, Ю. Н. Гондин, Р. С. Сметанина. – Горький: Изд-во Горьковского гос. универс., 1977. – 69 с.
5. Горбашко, Е. А. Конкурентоспособность промышленной продукции: учебное пособие / Е. А. Горбашко. – СПб.: Изд-во СПбУЭФ, 1991. – 64 с.
6. Горбашко, Е. А. Менеджмент качества и конкурентоспособности: учебное пособие / Е. А. Горбашко. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 1998. – 207 с.
7. Чубинский, А. Н. Расчетная методика оценки конкурентоспособности продукции / А. Н. Чубинский, О. С. Ракитова // Маркетинг и маркетинговые исследования. – 2002. – № 4. – С. 20–27.
8. Дружинский, И. А. Концепция конкурентоспособных станков / И. А. Дружинский. – М.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1990. – 270 с.
9. Проников, А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 559 с.
10. Ящерицын, П. И. Количественная оценка надежности и производительности автоматических станочных линий на

стадии проектирования / П. И. Ящерицын, Г. И. Плашей, А. И. Конюх. – Мн.: БелНИИНТИ, 1972. – 58 с.

11. Владзиевский, В. С. Автоматические линии в машиностроении: в 2 т. / В. С. Владзиевский. – М.: Машгиз, 1959.

12. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных вузов / под ред. В. Э. Пуша. – М: Машиностроение, 1985. – 575 с.

13. Расчет и выбор приводов механизмов автоматической смены инструмента: методические рекомендации / З. М. Левина [и др.]. – М: ЭНИМС, 1978. – 39 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Технические характеристики горизонтальных многоцелевых станков

ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)				
		HAAS, EC 500	2627МФ 4	МСГ1200 МФ4-10	НВ 2Т	НВ 4Т
Пере- меще- ние	X	508	813	2500	2000	2500
	Y	508	508	2500	1600	2500
	Z	508	711	1500	1250	1500
Стол	Длина, мм	400	500	1000	1250	1600
	Ширина, мм	400	500	1250	1250	1400
	Максимальная нагрузка, кг	800	1200	3500	3500	2400
Шпин- дель	Конус	ISO50	ISO50	ISO50	ISO50	SK50
	Максимальная частота вращения, об/мин	12000	12000	6000	2500	4000
	Максимальная мощность двигателя, кВт	22,4	22,4	37	37	25
	Смазывание подшипниковых опор	Жидкостное				
	Охлаждение опор	Жидкостное				
При- воды движе- ния по осям	Скорость установочных движений по осям X/Y/Z, м/мин	32	32	16	24	16
	Максимальная скорость подачи по осям X/Y/Z при резании, м/мин	24	24	12	24	12
Устрой- ство смены инстру- ментов	Тип накопителя	Револь- верная головка	Револь- верная головка	Цепной	Цеп- ной	Цеп- ной
	Вместимость	24	30	120	60	60

## Окончание прил. 1

ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)				
		HAAS, EC 500	2627MФ4	МСГ1200 МФ4-10	НВ 2Т	НВ 4Т
<b>Устрой- ство смены инстру- ментов</b>	Максимальный диаметр инструмента, мм	254	254	250	250	250
	Максимальная масса инструмента, кг	13,6	13,6	25	25	30
	Время смены инструмента (среднее), с	3	3	5,5	8	7
<b>Точ- ность</b>	Точность позиционирования	0,008	0,008	–	–	–
	Повторяемость	0,006	0,006	–	–	–
<b>Разное</b>	Масса станка, кг	9072	10866	12500	28500	50000

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Технические характеристики вертикальных многоцелевых станков

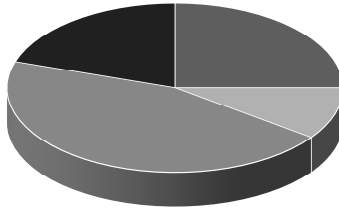
ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)				
		SV500	Picomax 56	Haas VM-3	Doosan 5600	Doosan V900
Пере- меще- ние	X	800	500	1016	2000	2000
	Y	500	400	660	900	900
	Z	500	400	635	1000	1000
Стол	Длина, мм	1000	908	1372	2200	2200
	Ширина, мм	500	480	635	900	900
	Максимальная нагрузка, кг	500	250	1814	4000	4000
Шпин- дель	Система привода	прямой	ремен- ной	прямой	коробка скорос- тей	коробка скорос- тей
	Максимальная частота вращения, об/мин	12 000	12 000	12 000	6000	6000
	Максимальная мощность двигателя, кВт	15	9,5	22,4	26	26
	Максимальный крутящий момент, Н×м	–	–	122	200	200
При- воды движе- ния по осям	Скорость установочных движений по осям X/Y/Z, м/мин	30/30/20	30/30/20	18/18/18	16	16
	Максимальная скорость подачи по осям X/Y/Z при резании, м/мин	–	–	12,7	7/7/9	7/7/9
Устрой- ство смены инстру- ментов	Вместимость	20	20	24	40	40
	Максимальный диаметр инструмента, мм	80	130	124	230	230

## Окончание прил. 2

ПАРАМЕТРЫ		Модель станка (изготовитель)				
		SV500	Picomaх 56	Haas VM-3	Doosan 5600	Doosan V900
<b>Устрой- ство смены инстру- ментов</b>	Максимальная масса инстру- мента, кг	8	10	5,4	15	15
	Время смены инструмента, с	3	3	2,8	2,5	2,5
<b>Разное</b>	Масса станка, кг	5500	3500	6350	20 300	20 300

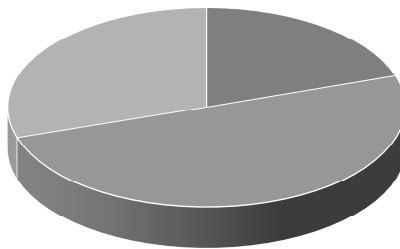
Примеры построения диаграмм

Соотношение количества станков с различным числом оборотов шпинделя



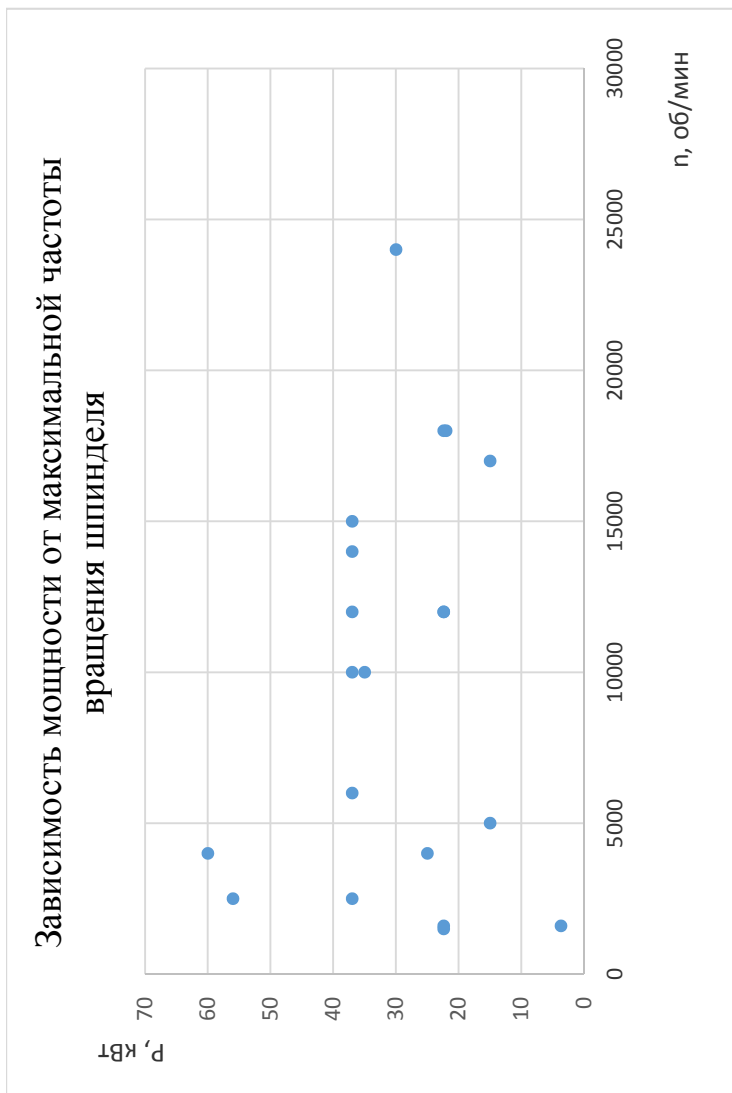
- до 5000 об/мин
- от 5000 до 10000 об/мин
- от 10000 до 15000 об/мин
- свыше 15000 об/мин

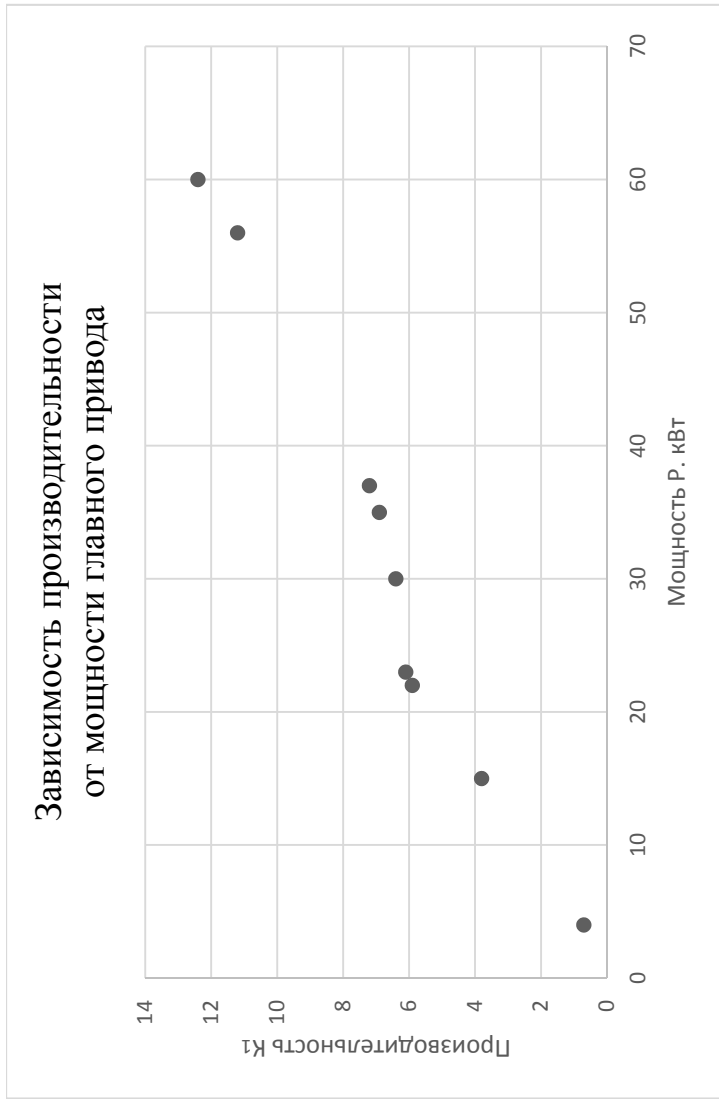
Соотношение количества станков с различной массой

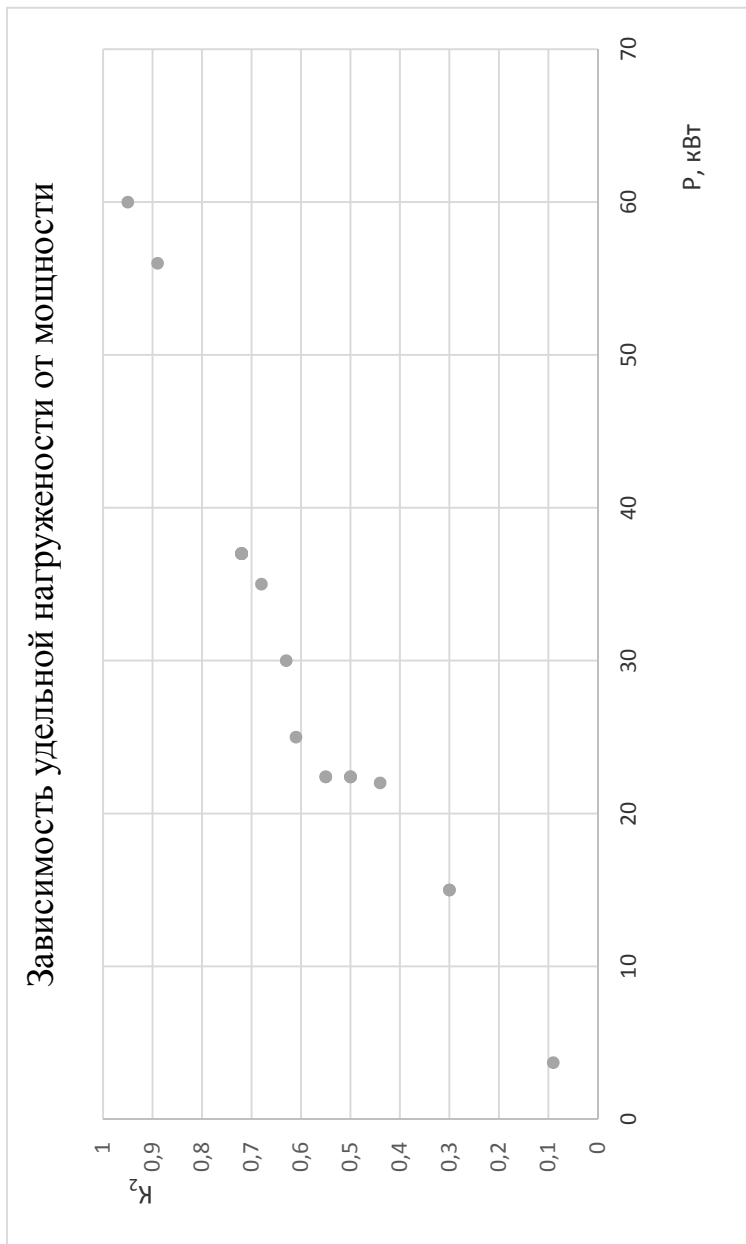


- до 10000т
- от 10000 до 30000т
- свыше 30000т
-

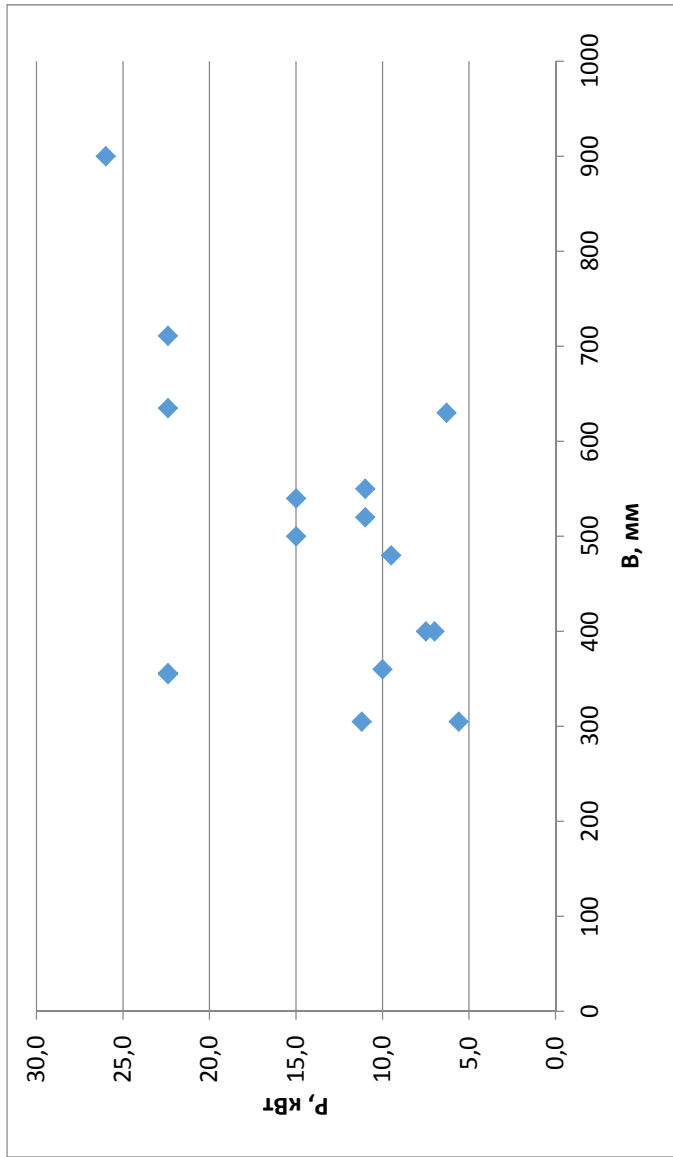




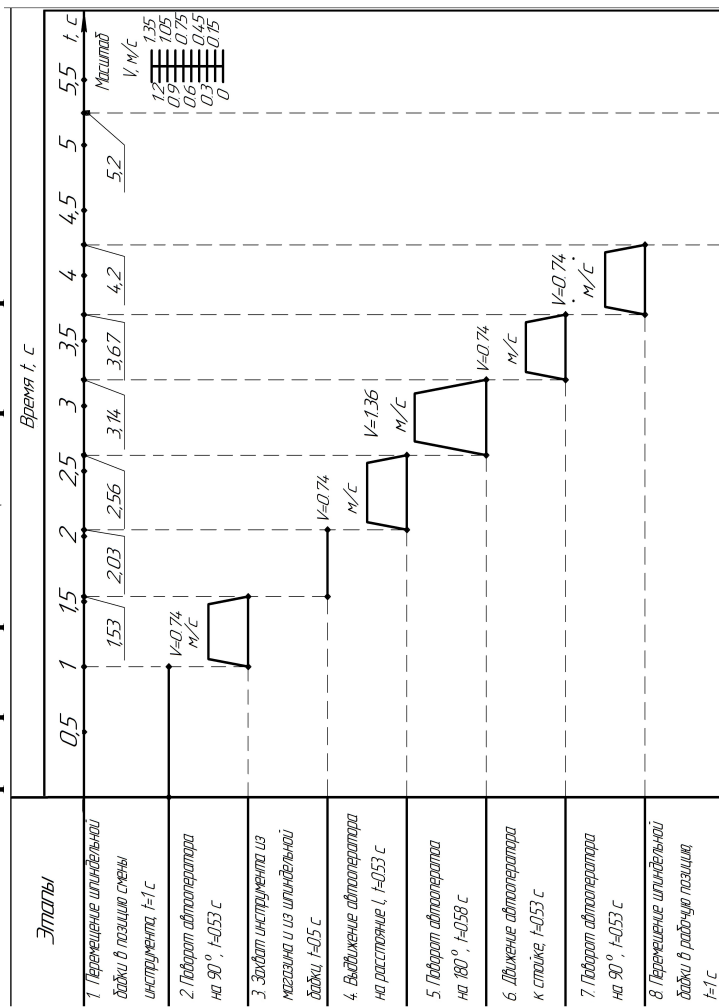




Зависимость максимальной мощности на шпинделе от ширины стола



Пример построения циклограммы работы АО



## Оглавление

Общие сведения о проектировании технологических систем.....	3
Практическая работа № 1 Анализ параметров технической характеристики многоцелевых токарных станков .....	5
Практическая работа № 2 Анализ параметров технической характеристики многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков .....	9
Практическая работа № 3 Оценка конкурентоспособности проектируемого станка методом расчета единичных и групповых показателей.....	13
Практическая работа № 4 Прогнозирование надежности изделий, состоящих из унифицированных элементов .....	18
Практическая работа № 5 Построение циклограммы работы автооператора смены инструментов.....	29
Литература.....	34
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	45

Учебное издание

**КОЧЕРГИН** Анатолий Иванович  
**БАБАК** Татьяна Николаевна

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Пособие для студентов специальности  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»

Редактор *А. С. Мокрушиников*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 01.07.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 2,73. Уч.-изд. л. 2,14. Тираж 100. Заказ 298.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.