

Ю. В. ПСИГИН

**УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ
И ПРОЦЕССАМИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Ульяновск 2003

Министерство образования Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Ульяновский государственный технический университет

Ю. В. Псигин

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие
для студентов специальности 120100 – Технология машиностроения

Ульяновск 2003

УДК 621.391.01(075)

ББК 34.5:32.965я7

П 86

Рецензенты: кафедра «Математическое моделирование технических систем»
Ульяновского государственного университета;
канд. техн. наук, доцент **С. К. Фёдоров** (Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия).

Редактор – д-р техн. наук, профессор **Л. В. Худобин**

Утверждено редакционно-издательским
советом УлГТУ в качестве учебного по-
собия

Псигин Ю. В.

П 86 Управление системами и процессами машиностроения: Учебное
пособие / Ю. В. Псигин. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 76 с.

ISBN 5 – 89146 – 300 – 0

Пособие разработано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Управление системами и процессами» для студентов всех форм обучения специальности 120100 – Технология машиностроения и направления 552900 – Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств.

Учебное пособие предназначено для использования при самостоятельной работе студентов и проведении практических занятий. В нём изложены основы расчёта эффективности применения автоматизированных систем управления и прогнозирования результатов применения этих систем в машиностроительном производстве. Рассмотрены вопросы оценки надёжности работы таких систем и организации поточного производства и технического контроля изделий на предприятиях машиностроения. Представлено устройство и принципы программирования микроконтроллера в составе робототехнического комплекса.

Пособие подготовлено на кафедре «Технология машиностроения» УлГТУ.

УДК 621.391.01 (075)

ББК 34.5:32.965я7

© Ю. В. Псигин, 2003

ISBN 5 – 89146 – 300 – 0

© Оформление. УлГТУ, 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПОНЯТИЕ О СИСТЕМАХ И ИХ УПРАВЛЕНИИ	5
1.1. Свойства и характеристики систем	5
1.2. Понятие об управлении	7
2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1 ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУТП).....	9
2.1. Общие положения.....	9
2.2. Оценка функциональной надёжности систем	10
2.3. Оценка эффективной надёжности систем.....	11
2.4. Пример расчёта функциональной и эффективной надёжности системы управления (СУ).....	12
2.5. Задание к практическому занятию № 1	15
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.....	17
3.1. Общие положения	17
3.2. Основные затраты на создание и эксплуатацию системы управления	17
3.3. Методика детерминированного расчёта экономической эффективности АСУТП.....	18
3.4. Пример детерминированного расчёта экономической эффективности АСУТП	20
3.5. Задание к практическому занятию № 2	23
4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АСУТП С УЧЁТОМ НЕУПОРЯДОЧЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА	24
4.1. Общие положения	24
4.2. Влияние неупорядоченности производства на экономическую эффективность АСУТП	24
4.3. Методика расчёта экономической эффективности АСУТП с учётом неупорядоченности производства	26
4.4. Пример расчёта экономической эффективности АСУТП с учётом неупорядоченности производства	27
4.5. Задание к практическому занятию № 3	39

5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КАК ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	30
5.1. Общие положения	30
5.2. Устройство микроконтроллера МКП-1	31
5.3. Принцип работы микроконтроллера МКП-1	35
5.4. Программирование работы микроконтроллера МКП-1	37
5.5. Формирование исходных данных и описание модели	40
5.6. Задание к практическому занятию № 4	41
6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ...	43
6.1. Система управления качеством продукции	43
6.2. Организация технического контроля	47
6.3. Пример расчёта показателей качества проектируемого металлорежущего оборудования	51
6.4. Задания к практическому занятию № 5	55
7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ	56
7.1. Общие положения	56
7.2. Простой производственный процесс	57
7.3. Пример расчёта производственного цикла простого процесса	60
7.4. Задание к практическому занятию № 6	61
8. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	63
8.1. Общие положения	63
8.2. Пример расчёта механизированной поточной линии с рабочим конвейером	65
8.3. Задание к практическому занятию № 7	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Таблица переводов символов формул в символы программ	68
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Блок-схема алгоритма программы МРОМ 1	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Блок-схема алгоритма программы МРОМ 2	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Блок-схема алгоритма программы МРОМ 3	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Блок-схема алгоритма программы МРОМ 4	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	75

ВВЕДЕНИЕ

Если в прошлые годы главным содержанием профессиональной деятельности инженера были технические и технологические вопросы, то в реальных условиях рынка, риска и конкуренции, экономической самостоятельности важнейшим становится, наряду с техникой и технологией, умение специалиста управлять производством или большими системами.

В настоящее время практически демонтированы вертикальные связи, а предприятия получили хозяйственную и экономическую самостоятельность. Сокращение объёмов производства вызывает разукрупнение и диверсификацию предприятий, рост конкуренции на рынке сбыта продукции. Нехватка инвестиций, рост цен на материалы и оборудование, стоимость рабочей силы, повышение требований к надёжности, безопасности и экологичности производственного процесса приводят к росту расходов, а иногда и к полному закрытию предприятий.

В этих условиях существенно повышаются роль и значение правильно выбранных и своевременно принятых специалистами управленческих решений и их ответственности за последствия этих решений в условиях риска.

Цель дисциплины «Управление системами и процессами» состоит в том, чтобы освоить суть и принципиальные приемы или методологию управления, которые применимы для любых систем машиностроительного производства – от управления отдельным технологическим процессом или единицей оборудования до руководства всем предприятием.

1. ПОНЯТИЕ О СИСТЕМАХ И ИХ УПРАВЛЕНИИ

1.1. Свойства и характеристики систем

Впервые системный подход к анализу чего-либо был применён Аристотелем (третий век до н.э.), предложившим классификацию, построенную на иерархии общего и частного: вид - род - класс.

В современном понимании система – это совокупность элементов или подсистем, находящихся во взаимодействии и образующих определённую целостность. Системы бывают различной сложности: объединение, состоящее из ряда предприятий; машиностроительный завод, состоящий из ряда служб, цехов, участков; станок, состоящий из ряда агрегатов, и т. д.

Различают системы технические (например, металлорежущий станок, автоматическая линия), человеко-машинные (автоматизированные системы управления технологическим процессом - обслуживающий персонал, станок - человек), производственно-экономические (завод, фирма), социальные

(персонал, различные группы населения), биологические (человеческий организм, определённая природная зона). В рамках данного пособия будут рассмотрены технические, человеко-машинные и производственно-экономические системы вместе с процессами, протекающими в них.

Функционирование системы в качестве единого целого обеспечивает связями между её элементами. Элемент системы – это объект, выполняющий определённые функции и не подлежащий дальнейшему расчленению в рамках поставленной перед данной системой задачи. Связи между элементами определяют структуру системы.

Например, элементом механосборочного цеха (системы) является станок (подсистема, элемент), который может осуществлять изготовление деталей, что является основной задачей данного цеха.

Дальнейшее расчленение станка на агрегаты для производственного процесса не имеет смысла, но важно для организации технического обслуживания и профилактических мероприятий.

Для работников ремонтного хозяйства важно расчленение станка не только на агрегаты, но и на детали, которые и будут являться первичными элементами.

Выделение системы, т.е. отнесение к ней определенного перечня элементов, является сложной задачей, особенно для производственных, экономических и социальных систем.

Элементы относятся к данной системе, если они удовлетворяют следующим основным требованиям:

- имеют общую цель, т. е. каждый элемент должен работать и давать свой измеряемый вклад в достижение цели системы;
- взаимно дополняют друг друга, т. е. без любого элемента система не может эффективно решать стоящих перед ней задач;
- имеют стабильные организационные, ресурсные и иерархические связи в системе.

Любая система характеризуется совокупностью (вектором) входов $Q_{вх}$, совокупностью (вектором) выходов $Q_{вых}$ и параметрами внутреннего состояния X (рис.1).

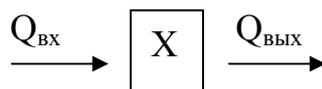


Рис. 1. Структурная схема системы

Например, если в качестве системы представить коробку передач вертикально-фрезерного станка, то входом для неё будет являться крутящий момент $M_{кр}$, поступающий на первичный вал, и частота вращения последне-

го; выходом – изменённые значения этих показателей до заданных; параметрами внутреннего состояния – сочетание (набор) зубчатых колес, обеспечивающее заданное преобразование (изменение).

Кроме вышеназванных существует такое понятие, как большие системы. Оно достаточно условно и характеризуется одним из следующих показателей или их комбинацией:

1. Иерархичность системы, т. е. наличие нескольких уровней в её структуре. Например, автомобильный завод: цех - участок - бригада - исполнитель; станок: агрегат - узел - деталь.

2. Наличие в системе элементов различного происхождения: технических, экономических, социальных. Например, предприятие: станки - здания - сооружения (технические элементы) - операторы - ремонтники - ИТР (социальные элементы) - взаимоотношения с банками, производителями техники, потребителями (экономические элементы).

3. Количество подсистем более 7...10.

1.2. Понятие об управлении

Известно несколько определений понятия «Управление». Инженерное (прикладное) определение этого понятия: управление – это процесс преобразования информации о состоянии системы в определённые целенаправленные действия, переводящие управляемую систему из исходного в заданное состояние.

Минимально необходимыми, но недостаточными условиями управления являются: наличие объективной и адекватной информации о состоянии системы и внешних факторов, определение цели (или целей), стоящей перед системой, и понимание возможных способов или действий для достижения этой цели. Но любое реальное управление требует ресурсов, а само управление, т. е. изменение состояния системы, происходит во времени, иногда весьма значительном. Поэтому достаточным набором для построения разумного управления является: информация о состоянии системы, её цели, имеющиеся ресурсы, располагаемое системой время для достижения этих целей и необходимые для этого действия.

Естественно, что этот набор должен располагаться и использоваться в определённой последовательности, образующей типовые этапы или технологию управления, применяемую независимо от отрасли, предприятия и характера задач. Типовыми этапами управления в процессе выработки и реализации управленческого решения считаются следующие этапы:

1. Определение цели, стоящей перед управлением системой или подсистемой (отраслью, цехом, участком, бригадой). Причём цель подсистемы

должна увязываться с целью системы более высокого ранга. Следовательно, постановка цели и её реализация должны рассматриваться в рамках программно-целевого подхода.

2. Получение информации о состоянии системы и о внешних факторах, действующих на систему.

При сборе, получении и обработке информации, т. е. всего того, что может дополнить наши знания, убеждения и предположения о системе и внешних факторах, различают следующие понятия:

- сообщение – упорядоченный набор символов, служащих для выражения информации;
- документ – материальный носитель сообщения в виде письма, справки, ведомости, наряда и др.;
- сигналы – физические факты, явления, процессы, служащие для передачи и накопления сообщений;
- шум – помехи, затрудняющие получение сигнала.

3. Обработка информации, оценка её точности, представительности, достоверности.

4. Анализ информации, сбор при необходимости дополнительной информации, её экспертиза.

5. Принятие управленческих решений в соответствии с целями системы, полученной и обработанной информацией.

6. Придание решению чёткой, желательно нормативной формы, обеспечивающей индивидуальную ответственность исполнителей, поэтапный количественный и качественный контроль.

7. Доведение решения до исполнителей. Здесь используются различные методы обучения, агитации, пропаганды. Наиболее целесообразной формой решения являются закон, правило, норматив, обеспечивающие эффективное управление.

8. Реализация управляющего воздействия, например, строительство или реконструкция производственной базы; освоение новых видов услуг; введение новой системы морального и материального поощрения рабочих; направление металлорежущего станка в ремонт или его списание и т. д.

9. Получение отклика (реакции) системы на управляющие действия в виде новой порции информации об изменении состояния системы.

При полном достижении системой назначенных целей в заданное время управление является оптимальным. Если состояние системы ухудшилось, то управление нерационально. Если произошло улучшение состояния системы, но цели полностью не достигнуты, то управление является рациональным. После этого наступает 10-й этап, в процессе которого анализируются причины, по которым цели не были достигнуты, при необходимости либо причины ликвидируются, либо корректируются цели.

Таким образом, управление реальными системами носит многошаговый, итеративный характер, когда к достигнутой цели приходят не за один, а за несколько шагов, последовательно корректируя действия с учётом достигнутых результатов.

Одна из типичных ошибок управления на разных уровнях – это попытка достичь цели за один ход, что для многих, а особенно больших систем является просто нереальным по следующим причинам:

- мы не располагаем, как правило, всей информацией о состоянии системы и действующих на неё факторов;
- реализация решения происходит во времени, иногда значительном, при этом ряд факторов, действующих в системе и на систему, изменяются;
- большие системы инерционны и для изменения их состояния требуется значительное время;
- главный действующий субъект управления – человек – консервативен, и требуется адаптация к новым целям и методам их достижения.

Примерами медленного изменения состояния систем являются трудная и продолжительная приспособляемость большинства людей к рыночным условиям, чрезвычайно длительное освоение специалистами персональных компьютеров и др.

Таким образом, при выработке и принятии управленческого решения, необходимо учитывать дефицит информации, значительный разрыв между моментами принятия и реализации решения и те последствия, которые могут возникнуть (социальные, технические, экономические) в результате реализации этого решения.

2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.

ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУТП)

2.1. Общие положения

Отличительными признаками сложных АСУТП являются [1]:

- многоканальность, т. е. наличие нескольких каналов, каждый из которых вычисляет определенную функцию, частную по отношению к общей задаче системы;
- многосвязность, т.е. большое количество связей между элементами системы;
- наличие вспомогательных и дублирующих устройств.

Исходя из вышеперечисленных особенностей, сложная АСУТП может находиться в нескольких рабочих состояниях, так как выход из строя отдельных её элементов не вызовет полного отказа системы, т. е. прекращения выполнения ею заданных функций, но ухудшит в той или иной степени качество функционирования. Следовательно, отказ какого-либо элемента приведёт функционирующую систему в состояние частичной работоспособности.

С этой точки зрения АСУТП оценивают по критериям функциональной и эффективной надёжности.

Под функциональной надёжностью P_f понимают вероятность того, что данная система будет удовлетворительно выполнять свои функции в течение заданного времени.

Эффективную надёжность P_e оценивают по среднему значению (математическому ожиданию) величины, характеризующей относительный объём и полезность выполняемых системой функций в течение заданного времени по сравнению с её предельными возможностями. Введение критерия эффективной надёжности связано с тем, что каким-либо отдельным показателем функциональной надёжности не удастся оценить функционирование сложной системы. Сложная система кроме надёжности каждого блока и всей системы характеризуется ещё относительной важностью потери системой тех или иных качеств. Поэтому под P_e понимается некоторая количественная мера, оценивающая качество выполняемых системой функций.

2.2. Оценка функциональной надёжности системы

Прежде чем произвести оценку надёжности системы в целом, необходимо найти показатели надёжности отдельных её звеньев (подсистем). Для этого следует определить их состав на основе анализа структурной схемы данной (или проектируемой) системы. Необходимо также выделить комплекс устройств (подсистем), всякий отказ в работе которых приводит к отказу всей системы. В АСУТП таким устройством (основным), как правило, является ЭВМ (вычислительное и запоминающее устройство).

После этого необходимо установить функциональные связи основного устройства с дополнительными, которые в процессе работы системы время от времени подключаются к основному устройству на время τ_i для обмена и обновления информации. Очевидно, что влияние таких устройств будет определяться главным образом тем, какова вероятность нахождения этих устройств в рабочем состоянии в любой произвольный момент времени t .

Таким образом, функциональная надёжность системы зависит от безотказной работы как основного устройства (комплекса) в заданное время, так и до-

полнительных устройств, работающих совместно с основным в течение времени τ :

$$P_{\phi} = f \{P_0(t); \kappa_i; P_i(\tau_i)\}, \quad (1)$$

где $P_0(t)$ – вероятность безотказной работы основного элемента; κ_i – коэффициент готовности i -го устройства; $P_i(\tau_i)$ – вероятность безотказной работы i -го дополнительного устройства при совместной работе с основным за среднее время при решении основной задачи.

Так как вся система работает в основном режиме, то её функциональная надёжность определяется по зависимости [1]

$$P_{\phi} = P_0(t) \prod_{i=1}^m \kappa_i \cdot P_i(\tau_i), \quad (2)$$

где m – количество дополнительных устройств в системе.

Если резервирования в системе нет, то

$$P_0(t) = e^{-\lambda_0 t}; \quad P_i(t) = e^{-\lambda_i t}; \quad \kappa_i = \frac{1}{1 + \rho_i} \left(1 + \rho \cdot e^{-\frac{1 + \rho_i}{\rho_i} \tau_i} \right), \quad (3)$$

где λ_0, λ_i – соответственно средняя интенсивность отказов основного и дополнительного устройств; $\rho = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$; $\mu^{-1} = \theta_i$ – среднее время восстановления рабочего состояния устройства; $\lambda_i^{-1} = T_i$ – среднее время безотказной работы.

В случае, когда $t \rightarrow \infty$, коэффициент готовности i -го устройства

$$\kappa_i = \frac{1}{1 + \lambda_i \theta_i} = \frac{T_i}{T_i + \theta_i}.$$

Из сказанного следует, что функциональная надёжность учитывает временные функциональные связи между дополнительными и основными устройствами системы.

2.3. Оценка эффективной надёжности систем

Для определения эффективной надёжности системы следует рассмотреть все комбинации состояний устройств, составляющих полную группу событий. Так как каждое из $m + 1$ рассматриваемых устройств (включая основное) может иметь два состояния (исправно или нет), то число комбинаций, составляющих полную группу событий, будет равно $n = 2^{m+1}$. Тогда эффективная надёжность системы определяется выражением [1]:

$$P_{\phi} = \sum_{j=1}^n P_j(t) \cdot E_j, \quad (4)$$

где $P_j(t)$ – вероятность j -го состояния системы в какой-либо момент времени t ; E_j – коэффициент эффективности; определяется как весовой коэффициент важности выполняемых задач в j -м состоянии системы по сравнению с полным объёмом задач, решаемых в системе.

Коэффициент эффективности E_j показывает, насколько снижается работоспособность системы при отказе данного элемента, т. е. характеризует в системе вес элемента по надёжности и может принимать значения $0 \leq E_j \leq 1$. Для элементов, отказ которых не влияет на выполнение системой основных функций, $E_j = 0$. Для элементов, отказ которых приводит к полному отказу системы, $E_j = 1$. Для вычисления коэффициентов эффективности системы E_j необходимо вычислить E_i по каждой частной задаче с учетом её относительной важности. При этом соблюдается условие

$$\sum_{i=1}^M E_i = 1 ,$$

где M – общее число задач, решаемых системой.

Коэффициент E_j в этом случае определяется как сумма весовых коэффициентов частных задач, решаемых системой в j -м состоянии:

$$E_j = \sum_{i=1}^R E_i ,$$

где R – количество частных задач, решаемых в j -м состоянии.

Таким образом, эффективная надёжность характеризует относительный объём и полезность выполняемых системой функций в течение заданного времени по сравнению с её предельными возможностями.

2.4. Пример расчёта функциональной и эффективной надёжности системы управления (СУ)

Задана система управления гидроприводом, состоящая из основного устройства A (решающее устройство) и вспомогательных устройств B (датчик давления) и C (насос с электроприводом) (рис. 2).

Исходные данные: время работы системы $t = 1000$ ч; коэффициент готовности вспомогательных устройств $k_B = 0,95$; $k_C = 0,85$; весовые коэффициенты: $E_1 = 0,2$ – приём информации в устройстве B ; $E_2 = 0,2$ – передача информации из устройства B в устройство A ; $E_3 = 0,3$ – обработка информации в устройстве A ; $E_4 = 0,2$ – выдача информации из устройства A в устройство C ; $E_5 = 0,1$ – вывод информации из устройства C . Интенсивность отказов основного устройства $A - \lambda_A = 0,07 \cdot 10^{-6}$.

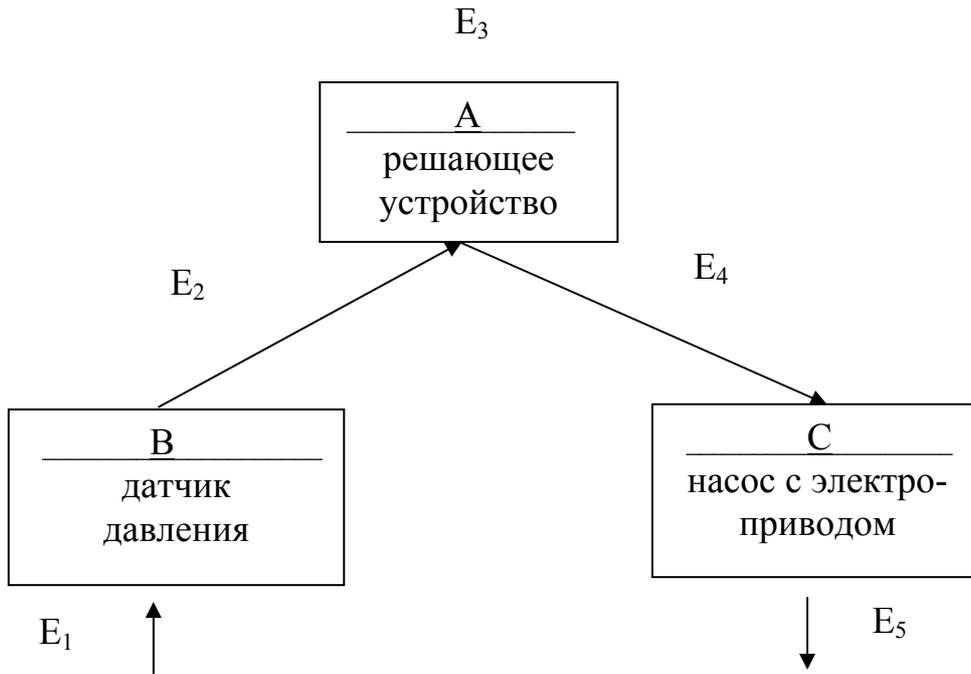


Рис. 2. Блок-схема системы управления

Требуется рассчитать функциональную и эффективную надёжность системы при максимальной интенсивности отказов устройств λ (табл. 1).

Определяют вероятность безотказной работы элементов по зависимости (3):

$$P_A = e^{-\lambda_A \cdot t} = e^{-0,07 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,999;$$

$$P_B = e^{-\lambda_B \cdot t} = e^{-6,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,993;$$

$$P_C = e^{-\lambda_C \cdot t} = e^{-27,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,972.$$

Определяют функциональную надёжность системы по зависимости (2):

$$P_{\Phi} = P_A \cdot (K_B \cdot P_B) \cdot (K_C \cdot P_C) = 0,999 \cdot (0,95 \cdot 0,993) \cdot (0,85 \cdot 0,972) = 0,778.$$

Определяют эффективную надёжность системы по зависимости (4), для чего составляют таблицу состояний системы (табл. 2).

$$P_{\Theta} = \sum_{j=1}^8 P_j \cdot E_j = 0,964 \cdot 1 + 2,7 \cdot 10^{-2} \cdot 0,9 + 6,0 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 + 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 + \\ + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 + 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,4 + 6,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 + 1 \cdot 10^{-7} \cdot 0 = 0,994.$$

После расчёта функциональной и эффективной надёжности системы управления проверяют правильность полученных результатов с помощью ЭВМ по программе МРОМ1 (приложения 1, 2), а распечатку результатов по заданию № 1 представляют вместе с отчётом преподавателю.

1. Интенсивность отказов устройств

Наименование устройства	Интенсивность отказов $\lambda \times 10^{-6}$, ч		
	Максимальная (max)	Средняя (med)	Минимальная (min)
Датчики: - уровня жидкости	3,73	2,60	1,47
- давления	6,60	3,50	1,70
- температуры	6,40	3,30	1,50
Насосы: - с электроприводом	27,4	13,5	2,90
- с механическим приводом	31,5	13,5	3,33
- с гидроприводом	45,0	14,0	6,40
Регуляторы: - расхода жидкости	5,54	2,14	0,70
- давления	5,26	2,03	0,65
Переключатели: - плунжерный	0,112	0,054	0,041
- кулачковый	0,12	0,075	0,048
Катушки: - индуктивности	0,031	0,020	0,011
- соленоидные	0,091	0,040	0,020
Реле электромагнитное	0,50	0,11	0,03
Термореле	1,0	0,40	0,12
Муфта электромагнитная	0,93	0,60	0,45
Электродвигатель	0,58	0,30	0,11

2. Возможные состояния системы управления гидроприводом

Состояние системы	Расчётные формулы	
	P_j	E_j
ABC	$P_A \cdot P_B \cdot P_C = 0,964$	1
$ABC\bar{C}$	$P_A \cdot P_B \cdot (1 - P_C) = 2,7 \cdot 10^{-2}$	$E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 0,9$
$A\bar{B}C$	$P_A \cdot (1 - P_B) \cdot P_C = 6 \cdot 10^{-3}$	$E_1 + E_3 + E_4 + E_5 = 0,8$
$\bar{A}BC$	$(1 - P_A) \cdot P_B \cdot P_C = 9,6 \cdot 10^{-4}$	$E_1 + E_2 + E_5 = 0,5$
$A\bar{B}\bar{C}$	$P_A \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_C) = 1,9 \cdot 10^{-4}$	$E_3 + E_4 = 0,5$
$\bar{A}\bar{B}C$	$(1 - P_A) \cdot P_B \cdot (1 - P_C) = 2,7 \cdot 10^{-5}$	$E_1 + E_2 = 0,4$
$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	$(1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot P_C = 6,8 \cdot 10^{-6}$	$E_5 = 0,1$
$\bar{A}B\bar{C}$	$(1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_C) = 1 \cdot 10^{-7}$	0

Примечание: A – устройство исправно; \bar{A} – устройство неисправно

2.5. Задание к практическому занятию № 1

Задание: рассчитать функциональную и эффективную надёжность одной из систем, блок-схемы которых представлены на рис. 3. Составить таблицу возможных состояний системы управления. Проверить результаты расчёта с помощью ЭВМ по программе МРОМ1 (приложения 1, 2).

Коэффициенты готовности вспомогательных устройств $K_B = 0,8$; $K_C = 0,85$; $K_D = 0,9$; $K_E = 0,95$. Интенсивность отказов основного устройства $\lambda_A = 0,05 \cdot 10^{-6}$ ч. Время работы системы $t = 1000$ ч. Возможные состояния системы представлены в табл. 3. Задание, согласно номеру варианта по табл. 4, выдаёт преподаватель.

3. Возможные состояния системы

№	Состояние	№	Состояние	№	Состояние	№	Состояние
1	ABCDE	9	$\overline{A}BCDE$	17	$\overline{A}BCDE$	25	$\overline{A}BCDE$
2	$\overline{A}BCDE$	10	$\overline{A}BCDE$	18	$\overline{A}BCDE$	26	$\overline{A}BCDE$
3	$\overline{A}BCDE$	11	$\overline{A}BCDE$	19	$\overline{A}BCDE$	27	$\overline{A}BCDE$
4	$\overline{A}BCDE$	12	$\overline{A}BCDE$	20	$\overline{A}BCDE$	28	$\overline{A}BCDE$
5	$\overline{A}BCDE$	13	$\overline{A}BCDE$	21	$\overline{A}BCDE$	29	$\overline{A}BCDE$
6	$\overline{A}BCDE$	14	$\overline{A}BCDE$	22	$\overline{A}BCDE$	30	$\overline{A}BCDE$
7	$\overline{A}BCDE$	15	$\overline{A}BCDE$	23	$\overline{A}BCDE$	31	$\overline{A}BCDE$
8	$\overline{A}BCDE$	16	$\overline{A}BCDE$	24	$\overline{A}BCDE$	32	$\overline{A}BCDE$

4. Исходные данные к практическому занятию № 1

№ варианта	Схема (рисунок 2)	Интенсивность отказов вспомогательных устройств			
		Вспомогательные устройства			
		B	C	D	E
1 (17)	Схема а	min	med	max	min (med)
2 (18)				max	med (max)
3 (19)				max	max (min)
4 (20)				min	min (med)
5 (21)	Схема б	med	max	min	med (max)
6 (22)				min	max (min)
7 (23)				med	min (med)
8 (24)				med	med (max)
9 (25)	Схема в	max	min	med	max (min)
10 (26)				max	min (med)
11 (27)				max	med (max)
12 (28)				max	max (min)
13 (29)	Схема г	min	med	min	min (med)
14 (30)				min	med (max)
15 (31)				min	max (min)
16 (32)				med	min (med)

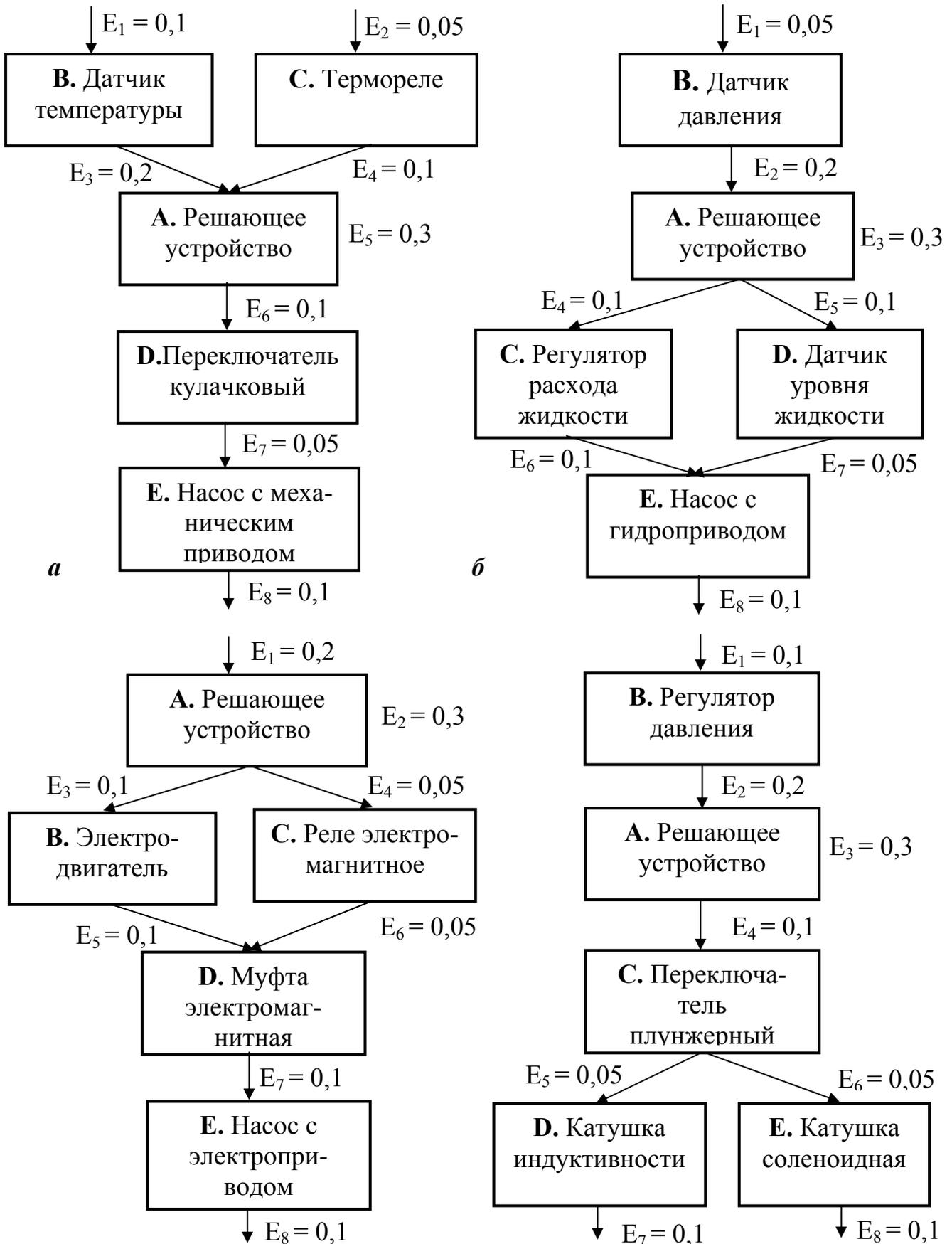


Рис. 3. Блок-схемы систем:

а – г – варианты схем согласно табл. 4

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

3.1. Общие положения

Автоматизированные системы управления технологическими процессами обеспечивают повышение эффективности производства за счёт повышения производительности труда, увеличения объёма производства, улучшения качества выпускаемой продукции, рационального использования основных фондов, материалов и сырья и уменьшения числа работающих на предприятии. Внедрение СУ отличается от обычных работ по внедрению новой техники тем, что оно позволяет перевести производственный процесс на качественно новую ступень развития, характеризуемую более высокой организацией (упорядоченностью) производства [2].

Качественное улучшение организации производства обусловлено значительным увеличением объёма обрабатываемой в СУ информации, резким увеличением скорости её обработки и применением для выработки управляющих решений более сложных методов и алгоритмов, чем те, которые использовали до внедрения АСУТП.

Экономический эффект, получаемый от внедрения одной и той же системы, зависит от уровня организованности производства (стабильности и настроенности технологического процесса (ТП)) до и после внедрения АСУТП, т. е. может быть различным для разных предприятий.

3.2. Основные затраты на создание и эксплуатацию системы управления

Основные затраты на создание СУ состоят, как правило, из затрат на предпроектные и проектные работы S_n и затрат $S_{об}$ на приобретение специального оборудования, устанавливаемого в СУ. При этом в стоимость проектных работ включают помимо расходов, связанных с разработкой проекта, и затраты на разработку математического обеспечения и внедрение СУ, а в стоимость оборудования – помимо стоимости средств управляющей вычислительной техники, устройств подготовки, передачи и отображения информации, стоимость узлов технологического оборудования, модернизация или разработка которых вызвана условиями работы оборудования в системе ТП – АСУТП [2]. Кроме за-

трат на создание СУ предприятие несёт ещё и затраты на её эксплуатацию. Таким образом, годовые затраты на СУ [2]

$$C_c = (S_n + S_{об}) / T + S_{экс}, \quad (5)$$

где T – время эксплуатации; обычно $T = 5 - 7$ лет; $S_{экс}$ – годовые эксплуатационные затраты, руб..

Эксплуатационные затраты на СУ [2]

$$S_{экс} = S'_{з.п} + S_{а.ф} + S_э + S_{к.м}, \quad (6)$$

где $S'_{з.п}$ – годовой фонд заработной платы персонала, обслуживающего СУ, руб.; $S_{а.ф}$ – амортизационные отчисления и плата за фонды, руб.; $S_э$ – затраты на коммунальные услуги (электроэнергию, воду и т.п.), руб.; $S_{к.м}$ – годовые затраты на материалы и комплектующие изделия, руб.

Амортизационные отчисления и плата за фонды [2]

$$S_{а.ф} = \sum_{i=1}^n S_{об_i} (a_{a_i} + a_{ф}), \quad (7)$$

где $S_{об_i}$ – стоимость оборудования i -го типа, руб.; a_{a_i} – коэффициент амортизационных отчислений по i -му типу оборудования; $a_{ф}$ – коэффициент отчислений за фонды.

Годовой фонд заработной платы персонала, обслуживающего СУ [2],

$$S'_{з.п} = t_p \cdot \bar{S}'_{з.п} (1 + K_{ц.н}) \cdot m', \quad (8)$$

где t_p – время работы обслуживающего персонала за год, ч; $\bar{S}'_{з.п}$ – средняя часовая ставка обслуживающего персонала, руб.; $K_{ц.н}$ – коэффициент цеховых накладных расходов; m' – численность обслуживающего СУ и специализированные устройства технологического оборудования персонала, чел.

3.3. Методика детерминированного расчёта экономической эффективности АСУТП

Увеличение объёма производства при внедрении СУ связано с увеличением темпа прироста объёма выпускаемой продукции. Объём выпускаемой продукции при внедрении СУ

$$V' = V_b + V_n + V_n', \quad (9)$$

где V_b – объём выпущенной продукции за прошедший год до внедрения СУ, шт.; V_n – планируемый прирост объёма выпускаемой продукции при отсутствии СУ, шт.; V_n' – дополнительное увеличение объёма выпускаемой продукции при внедрении СУ, шт.

Внедрение СУ позволяет улучшить качество продукции и увеличить долю изделий высших сортов или классификационных групп. С учётом увеличения объёма производства прибыль, которую получает предприятие за счёт выпуска

изделий высших сортов или классификационных групп, можно определить по зависимости [2]:

$$P' = \sum_{i=1}^n B'_i \cdot P'_i - \sum_{i=1}^n (B_{B_i} + B_{n_i}) \cdot P_i, \quad (10)$$

где B'_i – объём выпускаемой продукции i -й группы после внедрения СУ, шт.; B_{B_i} – объём выпущенной продукции i -й группы за прошедший год до внедрения СУ, шт.; B_{n_i} – планируемый прирост объёма выпускаемой продукции i -й группы при отсутствии СУ, шт.

Прибыль, полученную на единицу продукции без СУ P_i и с ней P'_i , вычисляют по формулам:

$$P_i = C_i - S_i; \quad P'_i = C'_i - S'_i, \quad (11)$$

где C_i и C'_i – соответственно цена единицы продукции при отсутствии СУ и с ней, руб.; S_i и S'_i – соответственно себестоимость единицы продукции при отсутствии СУ и с ней, руб..

Снижение расходов на заработную плату в случае сокращения численности работающих при внедрении СУ [2]

$$S_{с.з.п} = t_{p.c} \cdot \overline{S_{с.з.п.}} \cdot (1 + K_{ц.н}) \cdot m_c, \quad (12)$$

где $t_{p.c}$ – время работы персонала, подлежащего сокращению, за прошедший год, ч; $\overline{S_{с.з.п.}}$ – средняя часовая ставка сокращённого персонала, руб.; m_c – численность сокращённого персонала, чел.

В этом случае снижение удельных трудовых затрат от внедрения СУ можно определить по зависимости [2]:

$$\Delta S'_{з.п} = (1 + K_{з.н}) \cdot [S_{з.п} / (B_B + B_n) - S'_{з.п} / B'], \quad (13)$$

где $K_{з.н}$ – коэффициент общезаводских накладных расходов; $S_{з.п}$ – фонд заработной платы с общезаводскими накладными расходами до внедрения СУ, руб., т.е. $S_{з.п} = S'_{з.п} + S_{с.з.п}$.

Снижение удельных затрат на материалы и комплектующие изделия [2]

$$\Delta S'_{к.м} = S_{к.м} / (B_B + B_n) - S'_{к.м} / B', \quad (14)$$

где $S_{к.м}$ и $S'_{к.м}$ – соответственно стоимость комплектующих изделий и материалов на планируемый год при отсутствии СУ и с ней, руб..

С учётом затрат на создание и эксплуатацию СУ определяют себестоимость i -го типа изделий после внедрения СУ [2]:

$$S'_i = S_i - \Delta S'_{з.п} - \Delta S'_{к.м} + C_c / B', \quad (15)$$

а снижение себестоимости изделий i -го типа от внедрения АСУТП

$$\Delta S_i = S_i - S'_i. \quad (16)$$

При отказе СУ предприятие несёт убытки от невыполнения плана реализации. [2]:

$$D_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n B_{\text{пр}i} \cdot P_i' (t'_{\text{пр}} / t_{\text{пр}}),$$

где $B_{\text{пр}i}$ – объём продукции, невыпущенной из-за простоя СУ, шт.; $t'_{\text{пр}}$ – время простоя СУ в течение года во время работы технологического оборудования, ч; $t_{\text{пр}}$ – плановое время работы технологического оборудования в году, ч.

Прибыль от внедрения СУ с учётом убытков от её простоев

$$P'_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n B_i' \cdot P_i' (1 - t'_{\text{пр}} / t_{\text{пр}}) - \sum_{i=1}^n (B_{\text{в}i} + B_{\text{н}i}) \cdot P_i. \quad (17)$$

Без учёта уровня общей организованности производства или ТП срок окупаемости затрат на создание и функционирование СУ определяют по формуле:

$$T_{\text{ок}} = (S_n + S_{\text{об}}) / (P'_{\text{пр}} - S_{\text{экс}}). \quad (18)$$

3.4. Пример детерминированного расчёта экономической эффективности внедрения АСУТП

Необходимо определить прибыль от внедрения и срок окупаемости затрат на создание АСУТП на машиностроительном предприятии.

Исходные данные:

Предпроектные и проектные затраты S_n , руб.	80 000
Капитальные вложения (стоимость оборудования) $S_{\text{об}}$, руб.	160 000
Среднее число рабочих часов в году t_p , ч	4220
Длительность эксплуатации СУ T , лет	7
Средняя часовая ставка обслуживающего систему персонала $\overline{S'_{з.п}}$, руб.	0,7
Средняя часовая ставка сокращённого персонала $\overline{S_{с.з.п}}$, руб.	0,53
Численность обслуживающего систему персонала m' , чел.	4
Численность сокращённого персонала m_c , чел.	12
Коэффициент амортизационных отчислений a_a	0,02
Коэффициент отчислений за фонды a_f	0,06
Коэффициент цеховых накладных расходов $K_{ц.н}$	1,0
Коэффициент общезаводских накладных расходов $K_{з.н}$	1,0
Затраты на коммунальные услуги $S_э$, руб.	1 900
Затраты на материалы и комплектующие изделия $S_{к.м}$, руб.	3 900
Себестоимость единицы продукции до внедрения СУ S_i , руб.	$8,0 \cdot 10^{-2}$
Объём выпущенной продукции за прошедший год до внедрения СУ B_n , шт.	$1 \cdot 10^7$

Планируемый прирост объёма выпускаемой продукции без СУ

V_n , шт. $5 \cdot 10^5$

Дополнительное увеличение объёма выпускаемой продукции

при внедрении СУ V'_n , шт. $1 \cdot 10^6$

Окончательные результаты, выраженные в денежных единицах, умножаются на коэффициент $K_n = 30$.

Распределение изделий по классификационным группам представлено в табл. 5.

5. Распределение изделий по группам, %

Группа	А	Б	В	Г
До внедрения АСУТП	21,3	44,7	26,0	8,0
После внедрения АСУТП	14,2	42,5	31,3	12,0

Установлены следующие цены на изделия по группам: $C_A = S_A = 8,0 \cdot 10^{-2}$ руб., $C_B = 1,2 \cdot S_A$; $C_V = 1,8 \cdot S_A$; $C_\Gamma = 2,5 \cdot S_A$. Цены на изделия до и после внедрения АСУТП не изменяются. Себестоимость всех изделий до внедрения АСУТП – $8,0 \cdot 10^{-2}$ руб., после внедрения АСУТП себестоимости изделий всех групп также между собой равны.

Пример расчёта.

Затраты на создание системы известны, определим затраты на её эксплуатацию, предварительно вычислив годовой фонд заработной платы персонала, обслуживающего систему управления по зависимости (8):

$$S'_{з.п} = 4220 \cdot 0,7 \cdot (1 + 1) \cdot 4 = 23632 \text{ руб.} \approx 23,6 \text{ тыс. руб.}$$

Допустим, что для всего оборудования СУ амортизационные отчисления одинаковы, т. е. $a_{a_i} = a_a$. Тогда по зависимости (7)

$$S_{a.ф} = 160 (0,02 + 0,06) = 12800 \text{ руб.} = 12,8 \text{ тыс. руб.}$$

По зависимости (6) вычислим полный объём затрат на эксплуатацию системы:

$$S_{экс} = 23,6 + 12,8 + 1,9 + 3,9 = 42,2 \text{ тыс. руб.}$$

Ориентировочные годовые затраты на создание и эксплуатацию системы по зависимости (5)

$$C_c = (80 + 160) / 7 + 42,2 = 76485 \text{ руб.} \approx 76,5 \text{ тыс. руб.}$$

Объём выпускаемой продукции после внедрения АСУТП вычислим по зависимости (9):

$$B' = 1 \cdot 10^7 + 5 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^6 = 1,15 \cdot 10^7 \text{ шт.}$$

По зависимости (12) найдём снижение трудовых затрат на производстве:

$$S_{с.з.п} = 4220 \cdot 0,53 (1 + 1) \cdot 12 = 53678 \text{ руб.} \approx 53,7 \text{ тыс. руб.}$$

Снижение удельных трудовых затрат на внедрение СУ по зависимости (13)

$$\Delta S'_{з.п} = (1 + 1) [77,3 / (1 \cdot 10^7 + 5 \cdot 10^5) - 23,6 / 1,15 \cdot 10^7] = 1,061 \cdot 10^{-2} \text{ руб.}$$

Внедрение АСУТП в весьма малой степени влияет на удельный расход материалов и комплектующих изделий, поэтому из зависимости (14)

$$\Delta S'_{к.м} = 0.$$

Себестоимость единицы продукции группы А при функционировании СУ по зависимости (15)

$S'_A = 8 \cdot 10^{-2} - 1,061 \cdot 10^{-2} - 0 + 76500 / 1,15 \cdot 10^7 = 7,6 \cdot 10^{-2}$ руб. и значит согласно задания, $S'_A = S'_B = S'_B = S'_Г = 7,6 \cdot 10^{-2}$ руб.

Снижение себестоимости изделий группы А (16)

$\Delta S_A = 8 \cdot 10^{-2} - 7,6 \cdot 10^{-2} = 0,4 \cdot 10^{-2}$ руб., следовательно, $\Delta S_A = \Delta S_B = \Delta S_B = \Delta S_Г = 0,4 \cdot 10^{-2}$ руб.

При функционировании СУ изменяются не только себестоимость изделия, но и номенклатурное распределение изделий по группам А, Б, В, Г в % от всего объёма выпускаемых изделий (см. исходные данные, табл. 5). Рассчитаем прибыль по формулам (11) по каждой группе изделий и занесём данные в табл. 6.

6. Результаты расчёта прибыли по группам изделий

Группа изделий	Цена изделия, руб.	До внедрения СУ		После внедрения СУ	
		Количество изделий, шт.	Прибыль P_i , руб.	Количество изделий, шт.	Прибыль P'_i , руб.
А	$8 \cdot 10^{-2}$	2236500	0	1633000	$0,4 \cdot 10^{-2}$
Б	$9,6 \cdot 10^{-2}$	4693500	$1,6 \cdot 10^{-2}$	4887500	$2,0 \cdot 10^{-2}$
В	$14,4 \cdot 10^{-2}$	1730000	$6,4 \cdot 10^{-2}$	3599500	$6,8 \cdot 10^{-2}$
Г	$20 \cdot 10^{-2}$	840000	$12 \cdot 10^{-2}$	1380000	$12,4 \cdot 10^{-2}$

Время простоя СУ при работающем технологическом оборудовании обычно очень мало (менее 1 %) [3], поэтому в зависимости (17) величина $(1 - t'_{пр}/t_{пр}) \approx 1$. Значит, прибыль от внедрения АСУТП можно рассчитать по зависимости (10):

$$P' = [(1633000 \cdot 0,4 \cdot 10^{-2}) + (4887500 \cdot 2,0 \cdot 10^{-2}) + (3599500 \cdot 6,8 \cdot 10^{-2}) + (1380000 \cdot 12,4 \cdot 10^{-2})] - [(2236500 \cdot 0 \cdot 10^{-2}) + (4693500 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2}) + (2730000 \cdot 6,4 \cdot 10^{-2}) + (840000 \cdot 12,0 \cdot 10^{-2})] = 169552 \text{ руб.} \approx 169,5 \text{ тыс. руб.}$$

Наконец, по зависимости (18) определяем срок окупаемости затрат на создание АСУТП:

$$T_{ок} = (80 + 160) / (169,5 - 42,2) = 1,9 \text{ года,}$$

т. е. практически за два года предприятие окупит затраты, понесённые при создании и эксплуатации АСУТП.

После расчёта прибыли и срока окупаемости затрат на создание и эксплуатацию АСУТП проверяют правильность полученных результатов с помощью ЭВМ по программе МРОМ2 (приложения 1, 3), а распечатку результатов по заданию № 2 представляют вместе с отчётом преподавателю.

3.5. Задание к практическому занятию № 2

Задание: определить прибыль от внедрения АСУТП и срок окупаемости затрат на неё. Значения T , V_v , V_n , V'_n выбирают из табл. 7; остальные данные берут из примера параграфа 3.4.

Задание, согласно номеру варианта по табл. 7, выдаёт преподаватель.

7. Данные для практического занятия № 2

№ варианта	Длительность эксплуатации системы T , лет	Объём выпущенной продукции за год до внедрения СУ V_v , шт.	Планируемый прирост объёма выпускаемой продукции без СУ V_n , шт.	Прирост объёма выпускаемой продукции при внедрении СУ V'_n , шт.
1(15)	5 (7)	$1 \cdot 10^7$ ($2 \cdot 10^7$)	$4 \cdot 10^5$ ($5 \cdot 10^5$)	$1 \cdot 10^6$ ($3 \cdot 10^6$)
2(16)	5 (7)	$1 \cdot 10^7$ ($2 \cdot 10^7$)	$4 \cdot 10^5$ ($5 \cdot 10^5$)	$2 \cdot 10^6$ ($1 \cdot 10^6$)
3(17)	5 (7)	$1 \cdot 10^7$ ($2 \cdot 10^7$)	$4 \cdot 10^5$ ($5 \cdot 10^5$)	$3 \cdot 10^6$ ($2 \cdot 10^6$)
4(18)	5 (7)	$1 \cdot 10^7$ ($2 \cdot 10^7$)	$5 \cdot 10^5$ ($6 \cdot 10^5$)	$1 \cdot 10^6$ ($3 \cdot 10^6$)
5(19)	5 (7)	$1 \cdot 10^7$ ($2 \cdot 10^7$)	$5 \cdot 10^5$ ($6 \cdot 10^5$)	$2 \cdot 10^6$ ($1 \cdot 10^6$)
6(20)	6 (5)	$2 \cdot 10^7$ ($3 \cdot 10^7$)	$5 \cdot 10^5$ ($6 \cdot 10^5$)	$3 \cdot 10^6$ ($2 \cdot 10^6$)
7(21)	6 (5)	$2 \cdot 10^7$ ($3 \cdot 10^7$)	$6 \cdot 10^5$ ($4 \cdot 10^5$)	$1 \cdot 10^6$ ($3 \cdot 10^6$)
8(22)	6 (5)	$2 \cdot 10^7$ ($3 \cdot 10^7$)	$6 \cdot 10^5$ ($4 \cdot 10^5$)	$2 \cdot 10^6$ ($1 \cdot 10^6$)
9(23)	6 (5)	$2 \cdot 10^7$ ($3 \cdot 10^7$)	$6 \cdot 10^5$ ($4 \cdot 10^5$)	$3 \cdot 10^6$ ($2 \cdot 10^6$)
10(24)	6 (5)	$2 \cdot 10^7$ ($3 \cdot 10^7$)	$4 \cdot 10^5$ ($5 \cdot 10^5$)	$1 \cdot 10^6$ ($3 \cdot 10^6$)
11(25)	7 (6)	$3 \cdot 10^7$ ($1 \cdot 10^7$)	$4 \cdot 10^5$ ($5 \cdot 10^5$)	$2 \cdot 10^6$ ($1 \cdot 10^6$)
12(26)	7 (6)	$3 \cdot 10^7$ ($1 \cdot 10^7$)	$4 \cdot 10^5$ ($5 \cdot 10^5$)	$3 \cdot 10^6$ ($2 \cdot 10^6$)
13(27)	7 (6)	$3 \cdot 10^7$ ($1 \cdot 10^7$)	$5 \cdot 10^5$ ($6 \cdot 10^5$)	$1 \cdot 10^6$ ($3 \cdot 10^6$)
14(28)	7 (6)	$3 \cdot 10^7$ ($1 \cdot 10^7$)	$5 \cdot 10^5$ ($6 \cdot 10^5$)	$2 \cdot 10^6$ ($1 \cdot 10^6$)

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АСУТП С УЧЁТОМ НЕУПОРЯДОЧЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

4.1. Общие положения

Результаты, полученные при детерминированном расчёте экономической эффективности, справедливы лишь при условии абсолютной упорядоченности производства, т. е. его абсолютной стабильности. Абсолютно стабильных технологических процессов в реальном производстве нет, так как последние подвержены воздействию многих случайных факторов, вызывающих изменение свойств как объектов производства, так и организационных процессов управления ими. Нестабильность производства всегда приводит к уменьшению расчётного экономического эффекта, получаемого от внедрения СУ.

В качестве обобщённого критерия эффективности работы СУ, который учитывает нестабильность производства, принимают неупорядоченность системы r_n [3]. При этом за основу оценки r_n берут отклонение контролируемой переменной от её оптимального значения. В качестве переменной величины обычно принимают производительность обработки, объём выпущенной продукции, прибыль (годовой доход) предприятия.

4.2. Влияние неупорядоченности производства на экономическую эффективность АСУТП

В теории информации мера неопределённости сопоставляется с термодинамическим понятием энтропии, а количество информации равно уменьшению этой неопределённости.

Из статистической физики известно [4], что для систем, состоящих из большого числа элементов, справедливо соотношение

$$S = a \cdot \ln r_n, \quad (19)$$

где S – энтропия; a – постоянная; r_n – неупорядоченность системы.

Энтропия системы, предоставленной самой себе, возрастает, т. е. в естественных условиях система стремится к беспорядку. Противостоять нарастанию беспорядка могут только процессы управления.

Процесс управления – это по существу борьба с неупорядоченностью, а управление – это переработка и использование информации с выдачей управляющих воздействий [5].

Неупорядоченность системы приводит к снижению эффективности её использования. Поэтому можно считать, что эффективность системы

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} (1 - f(r_n)), \quad (20)$$

где \mathcal{E}_{\max} – эффективность идеально работающей системы; $f(r_n) = r_{n_0} \cdot e^{-I/I_0}$ – некоторая функция, изменение аргумента которой ведёт к изменению неупорядоченности и, в конечном итоге, эффективности системы.

Тогда получим

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} (1 - r_{n_0} \cdot e^{-I/I_0}), \quad (21)$$

где r_{n_0} – неупорядоченность системы при её исходном состоянии; I_0, I – количество перерабатываемой информации до и после проведения мероприятий по снижению неупорядоченности производства.

Так как в качестве критерия эффективности системы может быть использован любой производственный показатель, примем для наглядности в качестве критерия эффективности \mathcal{E} годовую прибыль предприятия. Считается, что стоимость СУ, реализующей сбор и преобразование управляющей информации, пропорциональна количеству информации [2]. Обозначим через K стоимость СУ. Тогда выражение (21) примет вид

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} (1 - r_{n_0} \cdot e^{-K/K_0}). \quad (22)$$

Усложнение СУ, связанное с дополнительным капиталовложением dK , даёт прирост эффективности системы $d\mathcal{E}$.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{dK}{d\mathcal{E}}. \quad (23)$$

Тогда из зависимости (22), учитывая, что $r_n = r_{n_0} \cdot e^{-K/K_0}$ и при $T_{\text{ок}0}$ $K = 0$, находим новый срок окупаемости затрат

$$T'_{\text{ок}} = T_{\text{ок}0} \cdot \frac{r_{n_0}}{r_n}, \quad (24)$$

где $T_{\text{ок}0}$ – срок окупаемости дополнительных средств, вкладываемых при исходном состоянии системы (при неупорядоченности r_{n_0}), рассчитанный детерминированным методом.

Таким образом, из выражения (24) видно, что срок окупаемости обратно пропорционален неупорядоченности r_n .

4.3. Методика расчёта экономической эффективности АСУТП с учётом неупорядоченности производства

Данная методика определяет порядок расчёта прибыли и срока окупаемости АСУТП при снижении неупорядоченности производства, которое обеспечено модернизацией СУ.

В реальном технологическом процессе, в силу его сложности и многогранности, постоянно происходят отклонения фактических характеристик и параметров от их теоретически рассчитанных значений.

Выберем за контролируемый параметр объём выпускаемой продукции. Вычислим разницу между теоретически рассчитанным и фактически выпущенным объёмом продукции:

$$\Delta B = \frac{B'}{100\%} \cdot A, \quad (25)$$

где A – объём невыпущенной относительно плановых расчётов продукции, %.

Тогда неупорядоченность производственной системы, влияющая на объём выпускаемой продукции,

$$r_{n0} = \frac{\Delta B}{B'}. \quad (26)$$

Уменьшить неупорядоченность производственной системы можно путём модернизации старой или внедрения новой, более совершенной СУ.

По несколько изменённой зависимости (5) находим дополнительные годовые затраты на модернизацию системы

$$C_{c_d} = (S_{n_d} + S_{об_d}) / T + S_{экс_d},$$

где S_{n_d} – дополнительные затраты на проектные работы:

$$S_{n_d} = \frac{S_n}{100\%} \cdot A_1; \quad (27)$$

$S_{об_d}$ – дополнительные капиталовложения (затраты на оборудование):

$$S_{об_d} = \frac{S_{об}}{100\%} \cdot A_2, \quad (28)$$

где A_1, A_2 – соответственно доля стоимости проектных работ и новых или изменённых узлов оборудования при модернизации СУ, %.

По зависимости (6) находим дополнительные эксплуатационные затраты:

$$S_{экс_d} = S'_{з.п_d} + S_{a.ф_d} + S_{э_d} + S_{к.м_d}.$$

Учитывая, что эффективность системы зависит от количества обрабатываемой в ней информации, которая пропорциональна величине капиталовложений [3], определим фактически получаемую прибыль с учётом неупорядоченности производственной системы (22):

$$P = P'_{\max} \left(1 - r_{n_0} \cdot e^{-K/K_0} \right),$$

где P'_{\max} – прибыль (эффективность), рассчитанная детерминированным методом, руб.

Для определения прибыли рассчитаем неупорядоченность производства с учётом модернизации СУ:

$$r_n = r_{n_0} \cdot e^{-K/K_0}, \quad (29)$$

где K, K_0 – соответственно дополнительные затраты на модернизацию и затраты на создание и эксплуатацию старой СУ, руб.

Срок окупаемости модернизированной системы

$$T'_{\text{ок}} = T_{\text{ок}_0} \frac{r_{n_0}}{r_n}, \quad (30)$$

где $T_{\text{ок}_0}$ – срок окупаемости затрат, т. е. время, к истечению которого $K + K_0 = 0$.

Срок окупаемости затрат на систему с учётом дополнительных затрат

$$T_{\text{ок}_0} = \left(S_n + S_{n_d} + S_{\text{об}} + S_{\text{об}_d} \right) / \left(P'_{\max} - \left(S_{\text{экс}} + S_{\text{экс}_d} \right) \right). \quad (31)$$

С учётом неупорядоченности производства окончательно срок окупаемости затрат на создание и эксплуатацию системы определяем по зависимости (30).

4.4. Пример расчёта экономической эффективности АСУТП с учётом неупорядоченности производства

Требуется определить прибыль от модернизации и срок окупаемости затрат на СУ в случае её модернизации и с учётом неупорядоченности производства.

В результате внедрения СУ по условиям практического занятия № 2 фактический объём выпуска продукции оказался на 10 % меньшим рассчитанного детерминированным методом ($A = 10\%$). Это объясняется периодическим контролем качества изделий с прекращением работы основного технологического оборудования, незапланированными остановками оборудования и действием других производственных факторов. Таким образом, потери объёма производства по зависимости (25):

$$\Delta B = \frac{1,15 \cdot 10^7}{100\%} \cdot 10\% = 1,15 \cdot 10^6 \text{ шт.},$$

а неупорядоченность производственной системы по зависимости (26)

$$r_{n_0} = \frac{1,15 \cdot 10^6}{1,15 \cdot 10^7} = 0,1.$$

Модернизация системы путём организации обратной связи позволит осуществлять контроль качества изделий и корректировку технологического процесса во время его функционирования, т. е. можно будет вести речь о синхронном управлении в реальном времени [2].

Пусть плановый объём выпускаемой продукции, заработная плата и численность обслуживающего систему персонала остались прежними (в соответствии с практическим занятием № 2). Проектные работы по модернизации системы увеличились на 25 %, стоимость нового оборудования составила 30 % от стоимости оборудования старой СУ, а годовые затраты на коммунальные услуги увеличились на 0,5 тыс. руб.

По зависимости (27) дополнительные затраты на проектные работы

$$S_{\text{нд}} = \frac{80}{100\%} \cdot 25\% = 20 \text{ тыс. руб.},$$

а по зависимости (28) дополнительные затраты на оборудование

$$S_{\text{обд}} = \frac{160}{100\%} \cdot 30\% = 48 \text{ тыс. руб.}$$

По зависимости (7) находим

$$S_{\text{а.фд}} = 48 (0,02 + 0,06) = 3,84 \text{ тыс. руб.}$$

Учитывая, что $S_{\text{эд}} = 0,5$ тыс. руб., а $S'_{\text{з.пд}}$ и $S'_{\text{к.м.}}$ не изменились, по зависимости (6) $S_{\text{эксд}} = 3,84 + 0,5 = 4,34$ тыс. руб.

Таким образом, по зависимости (5) годовые затраты на модернизацию системы

$$C_{\text{сд}} = (20 + 48) / 7 + 4,34 = 14,1 \text{ тыс. руб.}$$

Учитывая, что данное увеличение капитальных вложений в весьма малой степени влияет на себестоимость изделий ($\Delta S'_{\text{ид}} \approx 0,04 \cdot 10^{-2}$ руб.), максимально возможную полученную прибыль берём из отчёта по занятию № 2, а прибыль с учётом неупорядоченности производства рассчитываем по зависимости (22):

$$P = 169,5 \left(1 - 0,1 \cdot e^{-14,1/76,5}\right) = 155,4 \text{ тыс. руб.}$$

Неупорядоченность производства с учётом модернизации СУ, по зависимости (29)

$$r_{\text{n}} = 0,1 \cdot e^{-14,1/76,5} = 0,083.$$

Срок окупаемости затрат на систему с учётом дополнительных затрат по зависимости (31)

$$T_{\text{ок}_0} = (100+208)/(169,5 - 46,54) = 2,5 \text{ года};$$

с учетом неупорядоченности производства окончательно получаем по зависимости (30):

$$T_{\text{ок}} = 2,5 \cdot \frac{0,1}{0,083} = 3,01 \text{ года.}$$

Таким образом, учёт неупорядоченности любой системы ведёт к уменьшению рассчитанного детерминированным методом значения её эффективности и увеличению срока окупаемости затрат на её создание и эксплуатацию.

После расчёта прибыли и срока окупаемости затрат на модернизированную систему управления проверяют правильность полученных результатов с помощью ЭВМ по программе МРОМЗ (приложения 1, 4), а распечатку результатов по заданию № 3 представляют вместе с отчётом преподавателю.

4.5. Задание к практическому занятию № 3

Задание: определить прибыль от модернизации АСУТП и срок окупаемости затрат на неё. Значения A , A_1 , A_2 выбирают из табл. 8 согласно номера варианта, заданного преподавателем, остальные необходимые для расчёта величины – из параграфа 4.4. Окончательные результаты, выраженные в денежных единицах, умножаются на коэффициент $K_{\text{и}} = 30$.

8. Данные для практического занятия

№ варианта	Объём невыпущенной относительно плановых расчётов продукции A , %	Доля стоимости проектных работ при модернизации системы A_1 , %	Доля стоимости дополнительных затрат на оборудование при модернизации системы A_2 , %
1 (16)	5 (15)	25 (30)	30 (40)
2 (17)	5 (15)	25 (30)	35 (30)
3 (18)	5 (15)	25 (30)	40 (35)
4 (19)	5 (15)	30 (35)	30 (40)
5 (20)	5 (15)	30 (35)	35 (30)
6 (21)	10 (5)	30 (35)	40 (35)
7 (22)	10 (5)	35 (25)	30 (40)
8 (23)	10 (5)	35 (25)	35 (30)
9 (24)	10 (5)	35 (25)	40 (35)
10 (25)	10 (5)	25 (30)	30 (40)
11 (26)	15	25 (30)	35 (30)
12 (27)	15	25 (30)	40 (35)
13 (28)	15	30 (35)	30 (40)
14 (29)	15	30 (35)	35 (30)
15 (30)	15	30 (35)	40 (35)

5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КАК ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

5.1. Общие положения

Робототехнические комплексы (РТК) широко используются в машиностроении. Однако их автономное применение не даёт требуемого экономического эффекта, который может быть получен объединением в участок (линию) нескольких РТК, связанных транспортной системой (ТС). ТС обеспечивает перемещение заготовок со склада к РТК и межоперационное перемещение заготовок. Такой производственный участок уже представляет сложную технологическую систему. Учитывая высокую эффективность использования этих участков в мелкосерийном и серийном производствах, отличающихся многономенклатурностью и частой сменой объектов производства, основными требованиями к такой ТС является её гибкость, т. е. возможность быстрой переналадки на изготовление нового объекта, большой диапазон номенклатуры изготавливаемых объектов и, что особенно важно, высокий уровень загрузки оборудования.

Сложность решаемых задач при технологическом проектировании гибких производственных систем (ГПС), противоречивость требований, необходимость анализа альтернативных ситуаций требуют применения специальных математических методов. Одним из методов, пригодных для анализа элементов ГПС является аппарат теории исследования операций, а РТК может быть представлен как элемент системы массового обслуживания. Этой последней называют совокупность пунктов, в которые поступают через некоторые промежутки времени объекты (входящий поток), которые подвергаются там соответствующим операциям (обслуживанию) и затем покидают систему (выходящий поток).

Промежутки времени, через которые поступают объекты, и время обслуживания носят обычно случайный характер. При массовом поступлении объектов в систему обслуживания могут возникнуть очереди. Независимо от конкретной природы и характера объектов, поступивших в систему обслуживания, их называют требованиями (заявками).

Входящий поток требований рассматривается как последовательность событий, следующих через какие-либо моменты времени. Очередью называют совокупность требований, ожидающих обслуживания в момент, когда пункты обслуживания заняты обслуживанием других требований.

Структура очередей и поступления на них требований на обслуживание определяется как свойствами и возможностями, так и установленными правилами прохождения требований через эти системы. Требования могут выпол-

няться в порядке поступления (операции на конвейере), с приоритетом (внеочередное право на обслуживание, например, в связи со срочностью заказа), в порядке первого очередного поступления при освободившимся канале обслуживания («первым пришёл – первым обслужен»). Основной характеристикой очереди является время ожидания.

Система пунктов обслуживания может иметь различную организацию: с последовательными, параллельными и комбинированными каналами. Система массового обслуживания, имеющая один пункт обслуживания, называется одноканальной, а состоящая из N пунктов, работающих параллельно, – многоканальной.

РТК на базе промышленного робота ПР5, структура которого представлена на рис. 4, можно представить как элемент системы массового обслуживания одноканального типа, имитирующий работу РТК. Работа РТК, представленного на рис. 4, состоит из следующих операций: приём роботом заготовок, поступающих по конвейеру (из бункера); установка заготовки на технологическое оборудование (позицию сборки); обработка заготовки (сборка изделия); съём готовой детали со станка (съём изделия с позиции сборки); укладка детали (изделия) на позицию накопления деталей (изделий).

Управление промышленным роботом (ПР) осуществляется программируемым микроконтроллером (в данной работе – микроконтроллером МКП-1), представляющим собой микропроцессорное устройство, предназначенное для циклового и программно-логического управления работой технологического оборудования, в том числе ПР. Алгоритм работы микроконтроллера определяется программой, вводимой в его память.

5.2. Устройство микроконтроллера МКП-1

Микроконтроллер построен по модульному принципу, т. е. все его функциональные блоки выполнены в виде конструктивно законченных устройств (модулей) (рис. 5).

Основными конструктивными узлами микроконтроллера являются: корпус, пульт управления; функциональные модули, модули источника питания; сетевой фильтр. Все необходимые органы управления и индикации режимов работы микроконтроллера расположены на лицевой панели (рис. 6).

Пульт управления совместно с модулем управления составляет техническое средство общения оператора с микроконтроллером и включает в себя 8-ми разрядный однострочный дисплей, индикаторы режимов работы и клавиатуру для ввода команд и управления режимом работы микроконтроллера. Однострочный дисплей предназначен для отображения контролируемой оператором

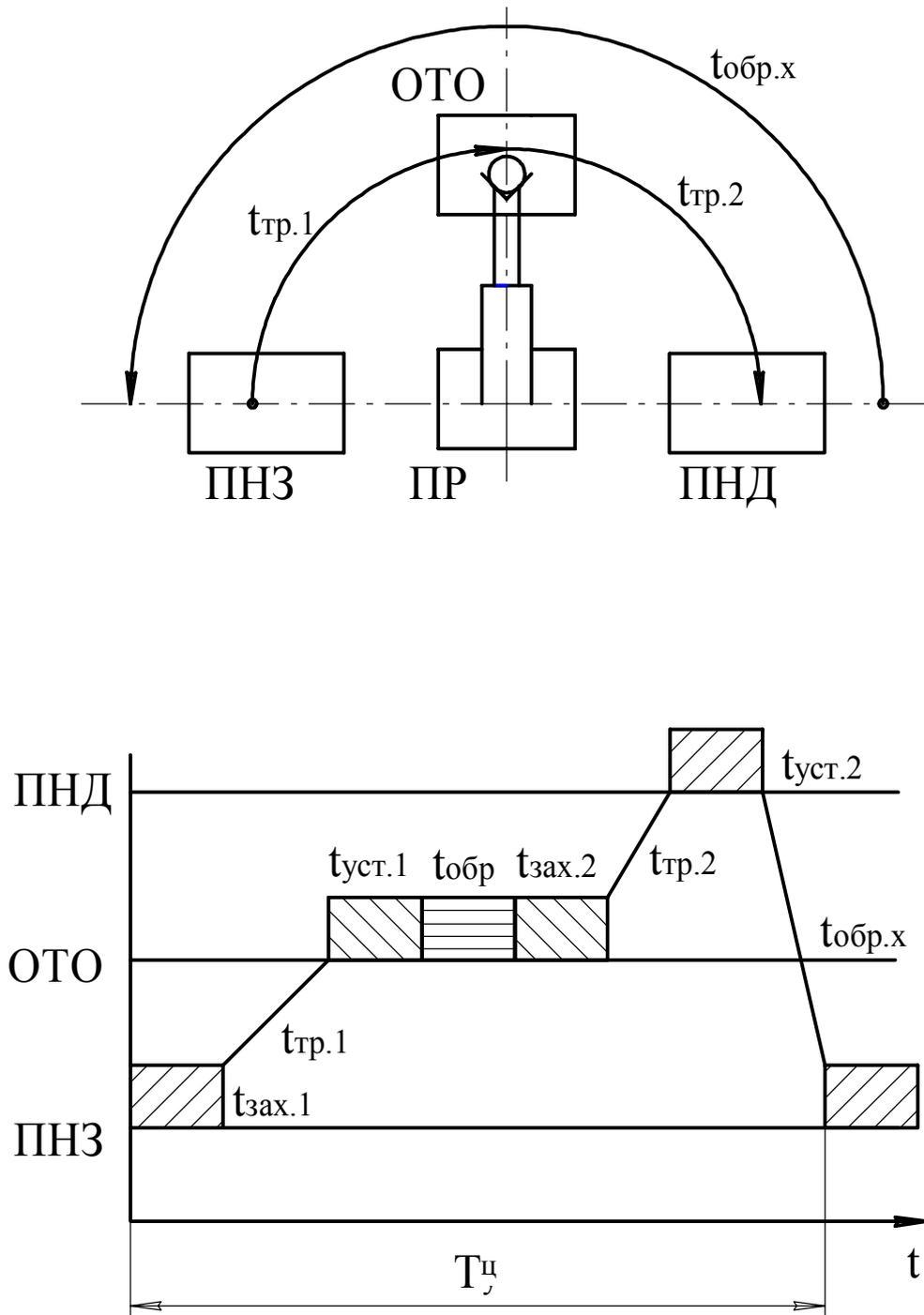


Рис. 4. Структурная схема и циклограмма работы РТК: ОТО – основное технологическое оборудование (станок); ПНЗ – позиция накопления заготовок, ПНД – позиция накопления деталей; ПР – промышленный робот. $t_{зах.}$ – время захвата объекта захватывающим устройством ПР; $t_{тр.}$ – время транспортирования (переноса объекта к станку и от него); $t_{устр.}$ – время установки заготовок на станок или детали (изделия) в тару; $T_{обр.}$ – время обработки на станке; $t_{обр.х}$ – время обратного хода робота; $T_{ц}$ – длительность цикла обслуживания в РТК одной заготовки (детали)

информации. Для выполнения операций ввода, контроля, отладки и выполнения управляющих программ на пульт управления выведены пять индикаторов режимов работы: А – автоматический, Р – ручной, Ш – пошаговый, ВП – ввод программы, П – просмотр программы.

Модуль процессора (МПП) (см. рис. 5) осуществляет сбор, цифровую обработку и вывод информации в соответствии с исполнительной программой, записанной в программируемое постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) модуля памяти.

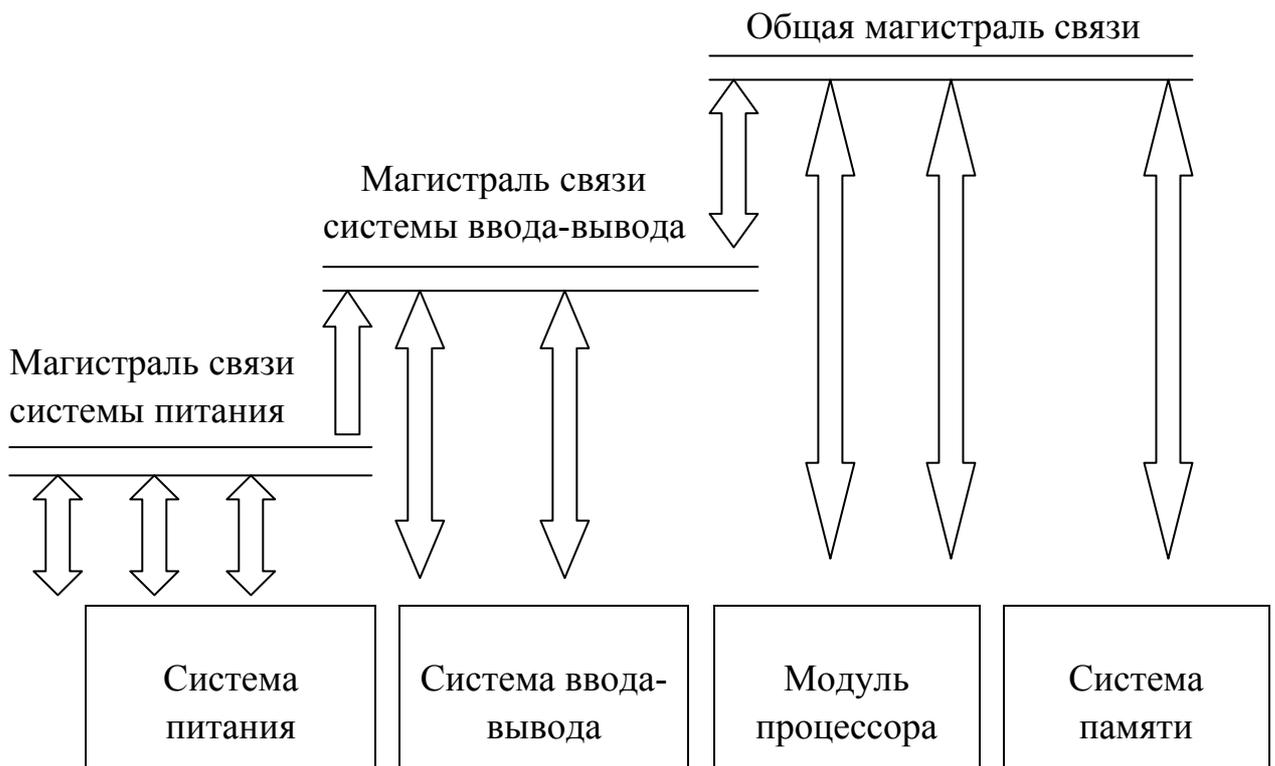


Рис. 5. Структурная схема микроконтроллера

Система памяти включает в себя модуль памяти и модули энергонезависимого запоминающего устройства.

Система ввода-вывода обеспечивает с помощью соответствующих модулей связь модуля процессора с пультом управления, управляющей ЭВМ высшего ранга и внешним технологическим оборудованием: электропневмопреобразователями, реле, элементами сигнализации, датчиками состояния оборудования (контактными, бесконтактными), исполнительными устройствами и т. п. Она обеспечивает преобразование уровней и гальваническую развязку сигналов, а также индикацию состояния каждого входа и выхода микроконтроллера.

Система электропитания микроконтроллера преобразует первичное напряжение питающей сети во вторичное стабилизированное напряжение вели-

чиной 5 и 12 вольт, необходимое для питания его модулей. Следует обратить внимание на то, что микроконтроллер не содержит источников питания исполнительных устройств и датчиков состояния внешнего технологического оборудования.

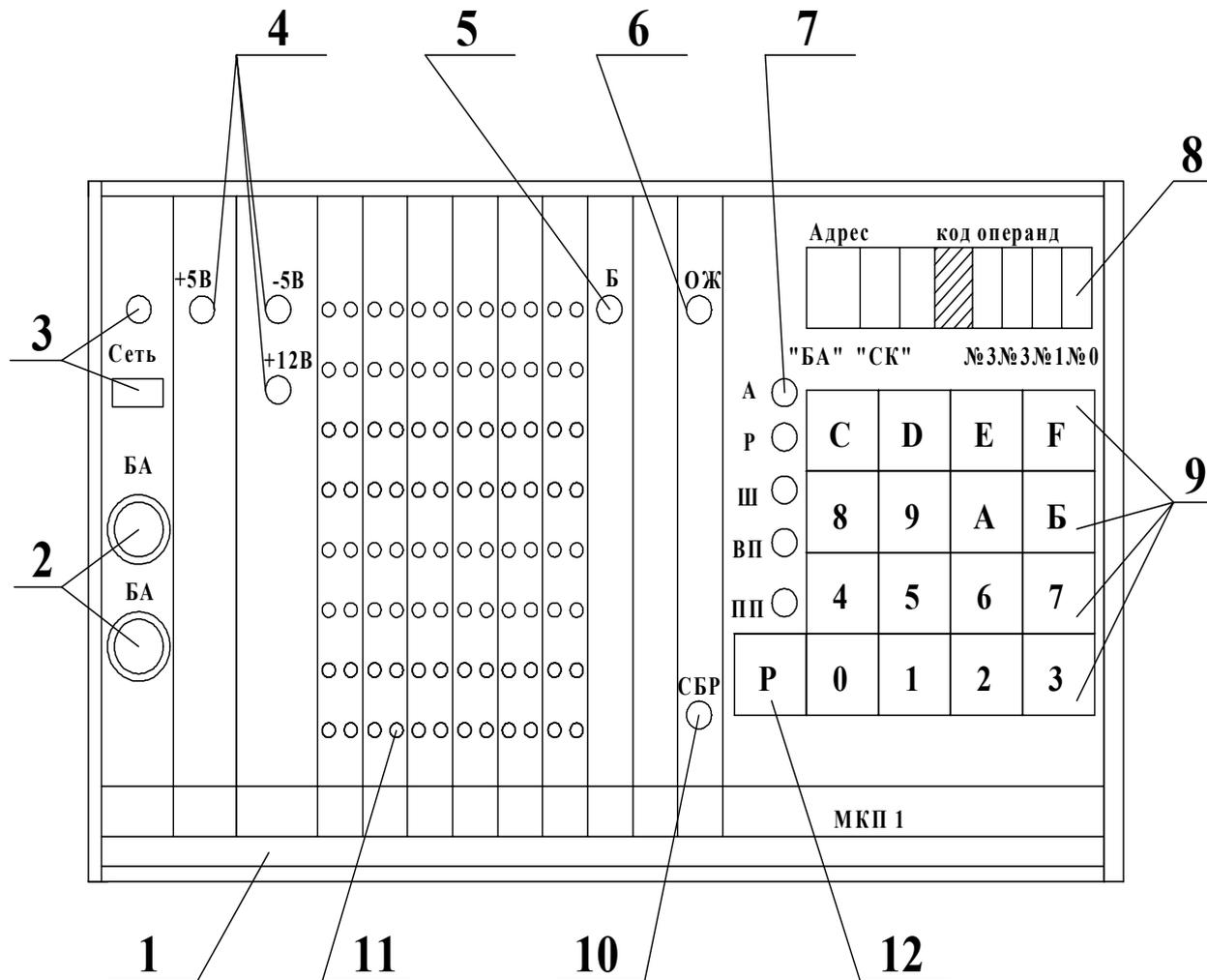


Рис. 6. Лицевая панель микроконтроллера МКП-1-48-2: 1 – корпус; 2 – предохранители, включенные в цепь первичного направления 3 – выключатель «Сеть» и индикатор напряжения питающей сети; 4 – индикаторы наличия направлений вторичных стабилизированных источников питания +5В, +12В, –5В; 5 – индикатор энергонезависимого напряжения Б для модуля энергонезависимого запоминающего устройства; 6 – индикатор ожидания ОЖ; 7 – индикаторы (А, Р, Ш, ВП, ПП) режимов работы микроконтроллера; 8 – однострочный дисплей; 9 – информационные клавиши; 10 – кнопка «Сбр» переключения микроконтроллера на ручной режим работы; 11 – индикаторы состояния входов и выходов микроконтроллера; 12 – переключатель режима работы микроконтроллера; БА – служебный регистр; СК – счётчик команд микроконтроллера; № 3, № 2 – числовые значения разрядов кода операции; № 1, № 0 – числовые значения разрядов кода операнда

5.3. Принцип работы микроконтроллера МКП-1

В каждый момент времени микроконтроллер может находиться в одном из пяти режимов работы – ручном, автоматическом, шаговом, ввода программ и просмотра программ, отображаемых соответствующими светодиодными индикаторами Р, А, Ш, ВП, ПП пульта управления (см. рис. 6).

Режим работы «Ручной» обеспечивает возможность выполнения команды сразу после её ввода с клавиатуры управления без запоминания кода операции, что позволяет реализовать оперативную отладку и настройку управляемого оборудования. Для включения режима «Ручной» необходимо нажать клавишу режима «Р» (см. рис. 6) и, не отпуская её, клавишу «1». При этом должен загореться индикатор режима работы «Р». Дисплей при этом погашен. При включении питания и после нажатия кнопки «СБР» микроконтроллер переходит в режим «Ручной».

Для ввода команды в этом режиме необходимо последовательно четыре раза нажать на функциональные клавиши пульта управления, соответствующие значениям «№ 3», «№ 2», «№ 1», «№ 0» (см. рис. 6), проверяя перед каждым нажатием готовность микроконтроллера к приёму информации с клавиатуры по состоянию индикатора «ОЖ». Правильность ввода с клавиатуры контролируют по последовательному выводу значений «№ 3», «№ 2», «№ 1», «№ 0» в соответствующий разряд кода операции или операнда. В случае ошибки при вводе любого из перечисленных значений ещё раз включают режим «Ручной» и повторяют ввод команды.

Убедившись в правильности ввода кода команды, нажимают на любую информационную клавишу пульта управления. При этом микроконтроллер осуществит выполнение введенной команды. Введенный код индицируется на дисплее в течение всего времени выполнения команды, если изменение индикации не предусмотрено самой командой. После окончания выполнения команды дисплей гаснет.

Режим работы «Автоматический» является основным режимом, предназначенным для управления технологическим оборудованием в соответствии с алгоритмом, реализованным в виде управляющих программ. Для включения режима «Автоматический» нажимают клавишу режима «Р» и, не отпуская её, информационную клавишу «0». При этом должен загореться индикатор режима «А». Дисплей при этом погашен. Выполнение управляющей команды начнётся с адреса, равного содержимому «БА» и «СК» в момент включения режима «Автоматический». Чтобы остановить выполнение управляющей программы в этом режиме, переключают микроконтроллер на любой другой режим работы. Микроконтроллер при этом выполнит очередную команду управляющей программы, увеличит значение «СК» на единицу и перейдёт в нужный режим. При

включении режимов «Просмотр программы» или «Пошаговый» на дисплее отобразится адрес и код следующей команды. Используя эту информацию, оператор может определить, в каком месте управляющей программы произошёл останов микроконтроллера.

При последующем включении режима «Автоматический» выполнение управляющей программы будет продолжено с команды, на которой произошёл останов.

Остановить выполнение управляющей программы можно также командой «СТОП» (код команды – 0800), введенной в требуемое место управляющей программой. В этом случае для дальнейшего запуска управляющей программы нажимают любую информационную клавишу.

При работе микроконтроллера в режиме «Автоматический» информационная клавиатура заблокирована, микроконтроллер реагирует только на изменение режима. Нажатие на информационные клавиши 6...F при нажатой клавише режима «Р» приводит к переключению микроконтроллера в режим «Просмотр команды» (с изменением «СК» в сторону увеличения значения адреса).

В режиме работы «Пошаговый» каждое нажатие информационной клавиши инициирует выполнение одной команды управляющей программы, записанной в запоминающее устройство, что позволяет оператору выполнять управляющую команду в необходимом ему темпе и использовать этот режим как отладочный. Для выполнения режима «Пошаговый» необходимо нажать клавишу режима «Р» и, не отпуская её, клавишу «2». При этом должен загореться индикатор режима «Ш». На дисплее отображаются значения «БА» и «СК» вместе с кодом команды, записанные в запоминающем устройстве по адресу, определяемому их значением. Нажатие любой информационной клавиши приводит к выполнению записанной команды и, по окончании выполнения, выводу на дисплей адреса и кода следующей команды управляющей программы.

В режиме работы «Ввод программы» происходит запись кодов команд управляющей программы, вводимых с клавиатуры пульта управления в запоминающее устройство. Для включения режима нажимают клавишу режима «Р» и, не отпуская её, клавишу «3». При этом должен загореться индикатор режима работы «ВП», а на дисплее в зоне адреса индицируются значения «БА» и «СК». Остальные зоны дисплея погашены.

Ввод кода в этом режиме выполняют аналогично вводу кодов команд в режиме «Ручной». В случае ошибки при вводе ещё раз включают режим «Ввод программы» (значение «БА» и «СК» в зоне адреса не меняется) и повторяют ввод кода команды. Убедившись в правильности ввода, нажимают любую информационную клавишу. При этом сформированный код записывается в запоминающее устройство по адресу, определяемому значениями «БА» и «СК». По окончании записи кода команды в запоминающее устройство значение «СК»

увеличивается на единицу и выводится на дисплей в зоне адреса. Остальные зоны дисплея при этом погашены. Микроконтроллер готов к приёму и записи очередного кода команды управляющей программы. После записи всей управляющей программы нажимают клавишу «СБР». Микроконтроллер переходит в режим «Ручной».

Режим работы «Просмотр программ» позволяет контролировать управляющую программу, записанную в запоминающее устройство, путем последовательного просмотра кодов. Для включения режима «Просмотр программы» необходимо нажать клавишу режима «Р» и, не отпуская её, клавишу «4», если просмотр идёт в направлении увеличения, и клавишу «5», если просмотр идёт в направлении уменьшения адресов управляющей программы. При этом должен включиться индикатор режима работы. На дисплее в зоне адреса будут отображаться значения «БА» и «СК», в зоне кода операции и операнда – код команды, записанной в запоминающее устройство по этому адресу. Нажатием на любую информационную клавишу значение «СК» увеличивается (уменьшается) на единицу, и на дисплее выводятся адрес и код следующей команды.

5.4. Программирование работы микроконтроллера МКП-1

Микроконтроллер оснащён системой команд, предназначенной для решения задач циклового и программно-логического управления дискретными производственными процессами, и обеспечивает высокую производительность программирования.

Исходная информация для составления программ может быть представлена циклограммой работы оборудования, блок-схемой алгоритма управления или булевыми функциями.

Система команд микроконтроллера реализована исполнительной программой, хранящейся в запоминающем устройстве модуля памяти. Исполнительная программа является неотъемлемой частью микроконтроллера, невидимой и недоступной для пользователя. Её назначение – преобразование инструкций, введённых оператором с помощью пульта управления или поступающих от управляющей программы, в последовательности кодов машинного языка микропроцессора.

Управляющая программа – программа, написанная пользователем в кодах команд входного языка микроконтроллера и обеспечивающая выполнение заданного алгоритма управления технологическим оборудованием. Она размещается в модулях энергонезависимого запоминающего устройства и сохраняется при отключении первичного питания микроконтроллера благодаря использованию батареи элементов.

Команды микроконтроллера по функциональному назначению можно разделить на следующие группы:

- 1) команды ввода-вывода;
- 2) команды управления программой;
- 3) команды управления счётчиками;
- 4) команды контроля и редактирования программ;
- 5) команды текстового контроля функциональных блоков.

Слово команды микроконтроллера делится на два поля по восемь разрядов – поле кода операции и поле операнда (см. рис. 6). Числовое значение каждого разряда кода операции или операнда № 1, № 2, № 3, № 0 кодируется символами шестнадцатеричной системы исчисления 0, ..., 9, А, В, С, D, E, F.

Совокупность команд микроконтроллера, образующая управляющую программу, записывается и хранится в модуле (модулях) запоминающего устройства. Объём модуля запоминающего устройства позволяет записать 256 команд управляющей программы (512 байт) и составляет одну зону памяти. Каждая зона памяти в свою очередь делится на две страницы, объёмом по 128 команд (256 байт).

Номер зоны является базовым адресом для отсчёта команд управляющей программы, записанной в этой зоне, и хранится в служебном регистре «БА», организованном исполнительной программой в запоминающем устройстве микроконтроллера.

Помимо «БА» в запоминающем устройстве организован регистр «СК» – счётчик команд микроконтроллера, содержимое которого определяет адрес команды в пределах зоны памяти.

Система команд микроконтроллера при использовании его в качестве устройства, управляющего работой промышленных роботов ПР5-2Э, приведена в табл. 9.

Формирование управляющей программы осуществляют после построения циклограммы работы промышленного робота, используя приведённую выше систему команд.

При реализации алгоритмов задач циклового управления, построенных по временному принципу, в управляющей программе после каждой команды необходимо предусмотреть команду «Выдержка времени». Выдержка времени, кратная 0,1 с, задаётся в поле операнда. Например, минимальная выдержка, равная 0,1 с, задаётся командой 0701; выдержка, равная 1 с, задаётся командой 070А, а максимальное значение выдержки, равное 25,5 с – командой 07FF. Если необходимо получить выдержку, большую чем 25,5 с, в управляющую программу необходимо последовательно включить две или несколько команд выдержки времени, обеспечивающих суммарную выдержку, равную требуемой.

В конце управляющей программы предусматривают команду «Возврат к исходному положению» (код – 0602) и команду «Возвращение к началу программы» (код – 0900).

Запись кодов команд управляющей программы в запоминающее устройство производят с клавиатуры пульта управления в режиме работы «Ввод программы». После записи всей управляющей программы нажимают клавишу «СБР».

9. Система команд микроконтроллера

Сокращённое обозначение команды	Формат команды				Краткое содержание команды
	Код операции		Код операнда		
	№ 3	№ 2	№ 1	№ 0	
ВКЛ	0	5	0	0	Зажим схвата
	0	5	0	1	Выдвижение манипулятора
	0	5	0	2*	Поворот робота влево
	0	5	0	3	Перемещение робота вверх
	0	5	0	4**	Установка дополнительного упора
ВЫКЛ	0	6	0	0	Разжим схвата
	0	6	0	1	Втягивание манипулятора
	0	6	0	2	Поворот робота вправо (возврат в исходное положение)
	0	6	0	3	Перемещение робота вниз
	0	6	0	4***	Отключение дополнительного упора
Т	0	7	Х	Х	Выдержка времени. Например, команда 0701 – Т=0,1с; команда 070А – Т=1с; команда 07FF – Т=25,5с
СТОП	0	8	0	0	Останов программы
БУП	0	9	0	0	Возврат к началу программы
	0	0	0	0	Нет операции. Безусловный переход к выполнению следующей операции
Примечания: * – Для робота ПР5-2Э-5.4 поворот заменён линейным перемещением; ** – Только для робота ПР5-2Э-13. Упор устанавливают перед отработкой команды 0502, если необходимо выполнить поворот робота влево на угол 90°; *** – Только для робота ПР5-2Э-13. Упор обязательно убирают перед повторной отработкой команды 0502.					

5.5. Формирование исходных данных и описание модели

Промежуток времени между поступлениями двух последовательно подаваемых в РТК заготовок (деталей) – величина случайная с заданной функцией распределения.

Моделирующий алгоритм имитирует протекание во времени всех процессов исследуемой системы массового обслуживания, часть которых является случайными и реализуется с помощью генератора случайных чисел.

В качестве исходных данных задают пять параметров. Все параметры временные. Они формируются и вводятся в следующей последовательности.

1. Периодичность поступления заготовок (деталей) из бункера (с конвейера) T_d .

2. Время обработки заготовки (сборки изделия) на основном технологическом оборудовании $T_{обр}$.

3. Время загрузки оборудования

$$t_z = t_{зах_1} + t_{тр_1} + t_{уст_1},$$

где $t_{зах_1}$ – время захвата заготовки (детали), с; $t_{тр_1}$ – время перемещения захвата ПР от позиции накопления заготовок к станку (деталей к сборочному станку), с; $t_{уст_1}$ – время установки заготовки на станке (детали на сборочном станке), с.

4. Время разгрузки оборудования

$$t_p = t_{зах_2} + t_{тр_2} + t_{уст_2}$$

где $t_{зах_2}$ – время захвата детали (изделия), с; $t_{тр_2}$ – время перемещения захвата ПР от станка (станда) к пункту накопления деталей (изделий), с; $t_{уст_2}$ – время укладки готовой детали в накопитель (изделия в тару), с.

5. Время обратного хода ПР $t_{обр.х}$.

В приложении 5 представлена блок-схема расчётов по рассматриваемой одноканальной модели.

В блоке 1 обнуляется время появления первой заготовки (детали), её время пролёживания, время простоя системы в ожидании её прихода, а также полные времена пролёживания и простоя. Этим устанавливается начальное состояние системы и фиксируется факт появления новой (второй) заготовки (детали). Здесь же производится ввод исходных данных: t_z , t_p , $t_{обр.х}$.

Блок 2 генерирует относительное время появления новой (второй) заготовки $T_{д_i}$; оно отсчитывается от момента прихода предыдущей заготовки.

Блок 3 генерирует относительное время обработки i -й заготовки на станке (время сборки i -го изделия) $T_{обр_i}$.

Блок 4 осуществляет расчёт времени обслуживания i -й заготовки (детали), а блок 5 суммирует время обслуживания в течение рабочей смены. В блоке 6 осуществляется сравнение относительного времени появления новой заготовки (детали) $T_{Д_i}$ и время обслуживания предыдущей $T_{обр_{i-1}}$. В зависимости от соотношения $T_{обр_{i-1}}$ и $T_{Д_i}$ будет простаивать робот или пролёживаться заготовка. Причём отсчёт времени прибытия новой заготовки должен проводиться от момента начала обслуживания РТК (ПР) предыдущей заготовки и вычисляется как разность между относительным временем появления новой заготовки и временем пролёживания предыдущей.

В блок 7 последовательно заносятся текущие значения реального времени пролёживания i -й заготовки $T_{прол_i}$ и там же осуществляется их суммирование. Если время обслуживания $T_{обр_{i-1}}$ окажется меньше относительного времени прихода i -й заготовки, то возникает простой робота, величина которого вычисляется в блоке 8, где и осуществляется его суммирование.

В блоке 9 происходит сравнение суммарных времени простоя ПР и времени обслуживания с общим временем рабочей смены (480 мин). Если $\sum T_{обсл_i} + \sum T_{пр_i} < 480$ мин., то продолжается генерирование времени подачи и обслуживания следующей заготовки (подачи детали и сборки изделия). Если это условие не выполняется, то в блоке 10 вычисляется среднее время обслуживания одной заготовки (среднее время сборки одного изделия) $T_{обсл.ср}$ и в блоке 11 выводятся на печать $\sum_{обсл_i}$, $\sum T_{прол_i}$ и $T_{обсл.ср}$.

5.6. Задание к практическому занятию № 4

Задание: на основании исходных данных табл. 10:

- рассчитать значение времени обслуживания одной заготовки;
- построить циклограмму работы ПР;
- рассчитать суммарное время пролёживания заготовок;
- рассчитать суммарное время обслуживания заготовок в течение рабочей смены;
- рассчитать коэффициент загрузки ПР;
- определить максимальное количество заготовок, которое можно обработать в течение смены, для чего определить число циклов промышленного робота на лабораторной установке, построенной на базе робота ПР5-2Э-5.4 или ПР5-2Э-13, в течение 10 минут;
- сделать вывод о загрузке оборудования (ТО и ПР).

10. Исходные данные к практическому занятию

№ варианта	$t_{\text{зах1}}$	$t_{\text{тр1}}$	$t_{\text{уст1}}$	$t_{\text{зах2}}$	$t_{\text{тр2}}$	$t_{\text{уст2}}$	$T_{\text{обр.х}}$
1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2
2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
5	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2
6	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2
7	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
8	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
9	0,4	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4
10	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4
11	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
12	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4
13	0,4	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,4
14	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4
15	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4
16	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4
17	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2
18	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
19	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
20	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
21	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2
22	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2
23	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
24	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
25	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4
26	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4
27	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
28	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4
29	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4
30	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4
31	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
32	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4

6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

6.1. Система управления качеством продукции

Управление качеством продукции включает действия, осуществляемые при создании и эксплуатации или потреблении продукции, в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня её качества. Качество продукции – это совокупность свойств изделия, обуславливающих её пригодность удовлетворять определённые потребности в соответствии с её назначением [6].

Качество изделий машиностроения характеризуется теми их свойствами, которые являются их объективной особенностью, проявляющейся в процессе эксплуатации изделия путём удовлетворения в той или иной мере потребностей народного хозяйства и населения.

Количественная характеристика свойств изделия, определяющих его качество, называется показателем качества. В зависимости от числа свойств, включённых в показатель качества, он может быть единичным (одно свойство, например, производительность) или комплексным (несколько свойств, например, ремонтпригодность можно охарактеризовать коэффициентом готовности K_T техники, который включает в себя два свойства: наработку изделия на отказ T_o и среднее время восстановления изделия T_b , т. е. $K_T = T_o / (T_o + T_b)$).

Номенклатура показателей качества разнообразна и в зависимости от их характера разделяется на группы [5, 7]:

1. Показатели назначения изделия – мощность, производительность, скорость и др.

2. Показатели экономичного использования сырья, электроэнергии при эксплуатации машин и механизмов у потребителя. Например, удельный расход энергии, потреблённой станком, на единицу произведённой продукции и др.

3. Показатели надёжности:

- безотказность: вероятность безотказной работы, время наработки на отказ при заданной вероятности, интенсивность отказов;

- долговечность: технический ресурс, срок службы;

- ремонтпригодность: среднее время восстановления, вероятность восстановления работоспособности в течение заданного времени, коэффициент готовности, коэффициент технического использования;

- сохраняемость изделия: время возможного хранения и транспортирования при сохранении заданных технических характеристик;

- защищённость изделия от вредных воздействий – теплоты, влажности, пыли, агрессивных сред и др.

4. Показатели безопасности, отражающие требования, обеспечивающие безопасность человека в производственных условиях.

5. Эргономические показатели, учитывающие требования гигиенических (освещённость, температура, влажность, напряжённость магнитного и электрического полей, запылённость, токсичность, шум, вибрации, перегрузки), антропометрических (соответствие конструкции изделия размерам и форме человека), физиологических (соответствие конструкции изделия силовым, скоростным, зрительным, слуховым, осязательным физиологическим возможностям человека), психологических (возможность человека воспринимать и перерабатывать информацию, выдаваемую машиной; возможность использования закрепленных и вновь формируемых навыков человека) свойств человека, проявляемых в производстве и быту при эксплуатации, использовании или потреблении изделия.

6. Эстетические показатели, характеризующие выразительность и рациональность формы, целостность композиции, совершенство исполнения, товарного вида, соответствие современному стилю оцениваемого изделия и другие группы показателей.

7. Показатели технологичности изделия: удельная трудоёмкость изготовления; удельная материалоемкость; коэффициент сборности (блочности).

8. Показатели стандартизации и унификации, характеризующиеся процентом применяемости унифицированных и стандартных сборочных единиц.

9. Патентно-правовые показатели: показатель патентной защиты; показатель патентной чистоты.

Различают показатели качества изделия, продукции, работы и труда [6, 7]. Показатель качества изделия количественно характеризует его полезность и потребительскую стоимость, но так как научно-методические и технические решения количественной оценки качества изделий до настоящего времени несовершенны, то эта характеристика довольно приближена.

Показатель качества продукции количественно характеризует качество определённой массы изделий (партия, выборка, годовая программа и др.) по содержанию в этой массе продукции изделий, качество которых отвечает заданным требованиям, или по отклонениям от заданного качества выявленного количества изделий.

Показатель качества работы используют в тех производствах или организациях, где продукцией являются не изготовленные ими материальные ценности, а работа. Это могут быть, например, разработка технологий и конструкторской документации, переработка информации, ремонтные или погрузочно-разгрузочные работы и др.

Показатель качества труда количественно характеризует полезность труда коллектива или отдельного работника, которые участвуют в создании ценностей различного назначения для удовлетворения потребностей общества.

Известны различные методы определения показателей качества: измерительный, регистрационный, расчётный, экспертный, социологический, органолептический, комбинированный [7].

Измерительный метод использует для установления значений показателей качества изделий технические средства измерения.

Регистрационный метод определения показателей качества продукции основан на наблюдении и подсчете числа событий, предметов и случаев. Например, подсчет числа изделий с устранимыми и неустранимыми дефектами за определённый период времени, в течение которого выпускалась продукция.

Расчётный метод определения показателей качества применяется при разработке новых изделий. При этом используют теоретические и эмпирические зависимости, а для расчёта часто, особенно в последние годы, используют средства вычислительной техники. Этим методом рассчитывают значения таких показателей качества будущих изделий, как производительность станка, надёжность техники, мощность электродвигателя и др.

Экспертный метод определения показателей качества используют главным образом для группы эстетических показателей качества изделий. Назначается группа экспертов (специалистов в данной области), которая в определенных единицах (баллах) дает оценку потребительских свойств новых видов товаров, обычно бытового назначения (телевизоров, холодильников, мотоциклов и др.). В машиностроении этот метод применяется крайне редко.

Социологический метод определения показателей качества продукции обычно используют при проведении выставок, на покупательских конференциях и совещаниях, где фактические или потенциальные покупатели и потребители будущей продукции с помощью опросных листов, анкет или устно высказываются о качестве продукции. Этот метод широко распространён за рубежом и в последние годы достаточно часто используется и у нас в стране.

Органолептический метод основан на анализе восприятий органов чувств таких потребительских свойств продукции, как цвет, запах и т. д. и в машиностроении практического применения не находит.

Комбинированный метод – это сочетание нескольких различных методов определения показателей качества, дополняющих друг друга, что обеспечивает получение всесторонней оценки качества.

В зависимости от цели оценки в практике машиностроения используют такие понятия, как «качество изделия» и «техническое качество изделия»; «уровень качества изделия» и «технический уровень качества изделия».

В отличие от термина «качество изделия» термин «техническое качество изделия» включает не всю совокупность свойств, а лишь те, которые характеризуют технические параметры изделия и не учитывают эстетические, эргономические, экологические и другие свойства изделия, не являющиеся его техническими характеристиками.

Для сравнительной оценки качества изделия с качеством ранее выпускавшихся, перспективных или лучших отечественных и зарубежных изделий, которые принимают за базу сравнения, определяют уровень качества изделия путем сравнения значений показателей качества оцениваемого изделия со значениями соответствующих показателей базового изделия (рис. 7). Технический уровень изделия определяют аналогично, путем сравнения значений показателей технического качества изделия.

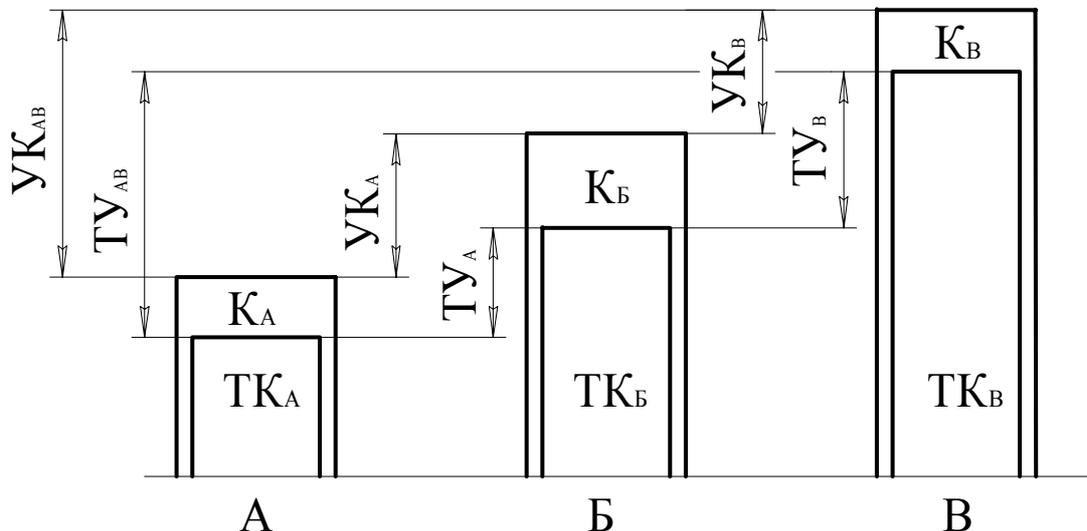


Рис. 7. Система понятий качества, технического качества и их уровней: А, В – изделия-аналоги; Б – базовое изделие; К, ТК – соответственно качество, техническое качество изделий; УК, ТУ – соответственно уровень качества, технический уровень качества изделий

Базовое изделие в зависимости от целей оценки выбирают с различных позиций. Если следует оценить технический уровень нового изделия по сравнению с имеющимся, то за базовое изделие принимаются лучшие из имеющихся аналогов. Это – ретроспективная оценка. Если за базовый аналог взять идеальное изделие будущего, которое можно получить на данной ступени научно-технического развития общества, то различие между его техническим качеством и техническим качеством оцениваемого изделия позволит определить его технический потенциал – перспективная оценка.

6.2. Организация технического контроля

Первостепенную роль в системах управления качеством на предприятиях играет технический контроль, от степени совершенства, технического оснащения и организации которого во многом зависит эффективность производства. Этим объясняется большое внимание к совершенствованию средств и методов технического контроля на машиностроительном предприятии, позволяющим при минимальных затратах достичь высокой стабильности показателей качества продукции. Обеспечение качества продукции на всех этапах производственного процесса является предпосылкой высокоэффективной работы предприятия. Основной задачей технического контроля на промышленном предприятии является предотвращение выпуска продукции, не удовлетворяющей установленным требованиям, следовательно, технический контроль — это проверка соответствия процессов, от которых зависит качество продукции, и их результатов установленным техническим требованиям.

На машиностроительных предприятиях применяют различные виды технического контроля, отличающиеся по методу исполнения, месту расположения в производственном процессе, по охвату контролем продукции и некоторым другим признакам.

В зависимости от места организации контроля на том или ином этапе производства различают следующие его разновидности.

1. Входной – это контроль сырья, материалов, комплектующих изделий и готовой продукции, поступающих от других предприятий или своих производственных участков.

2. Операционный – это контроль продукции или технологического процесса, выполняемый после завершения отдельной операции или в течение её выполнения. Операционный контроль выполняется мерительным инструментом и часто сопровождается выключением станка и снятием с него заготовки (детали) для измерения. Прогрессивным видом операционного контроля является активный контроль, осуществляемый непосредственно в процессе изготовления продукции приборами, встроенными в технологическое оборудование. Приборы непрерывно дают показания о величине контролируемого параметра и используются в качестве датчиков для автоматического управления процессом изготовления продукции [7]. Применение активного контроля позволяет значительно повысить производительность технологического оборудования и исключить влияние субъективного фактора на результаты контроля.

3. Приёмочный – это контроль готовой продукции после завершения всех технологических операций по её изготовлению, в результате которого принимается решение о пригодности продукции к поставке или использованию.

В зависимости от полноты охвата продукции контролем входной, операционный и приёмочный контроль может быть сплошным или выборочным.

Сплошной – это контроль, при котором решение о качестве принимают по результатам проверки каждой единицы продукции. Он почти полностью исключает возможность попадания к потребителю некачественной продукции, но иногда его применение оказывается экономически нерациональным или практически невозможным, например, в случае разрушающего контроля.

Выборочный – это контроль, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимают по результатам проверки одной или нескольких выборок из партии. В данном случае на основе ограниченного количества контрольных проверок можно судить с определенной степенью точности о качестве всей партии изделий или состоянии технологического процесса.

В массовом производстве чаще всего используют статистический контроль, основанный на законах статистики и теории вероятности. При относительно небольших затратах статистический контроль позволяет предупреждать возникновение брака в самом процессе производства, обеспечивает в сравнении со сплошным значительную экономию труда при измерениях и испытаниях, а при измерении одной или нескольких величин даёт возможность, как правило, судить об изменении других величин, которые не измеряли.

Внедрение статистических методов контроля является неотъемлемой частью общей проблемы управления качеством продукции. Статистические методы используют для анализа, регулирования технологических процессов и статистического приёмочного контроля качества продукции. Статистический приёмочный контроль – это выборочный контроль, в котором для обоснования правил приёмки используют методы математической статистики. Этот метод характеризуется, как и обычный выборочный контроль, тем, что из подконтрольной партии объектов непосредственной проверке подвергается часть, которая называется выборочной. Выборка должна быть представительной, т. е. правильно отражать состояние всей подконтрольной партии, так как на основании качества выборки формируется суждение о качестве всей подконтрольной партии.

В практике машиностроительных предприятий используют одноступенчатый (рис. 8), двухступенчатый (рис. 9) и последовательный статистический приёмочный контроль.

Одноступенчатый контроль позволяет делать вывод о качестве подконтрольной партии по одной выборке. Двухступенчатый – основан на контроле качества не более, чем по двум выборкам, причём отбор второй выборки определяется результатом контроля первой. Последовательный контроль не устанавливает заранее количество выборок, по которым будет сделано заключение о качестве всей продукции. Размер выборки, приёмочное и браковочное значение устанавливают исходя из требований рынка потребителей и производителей.

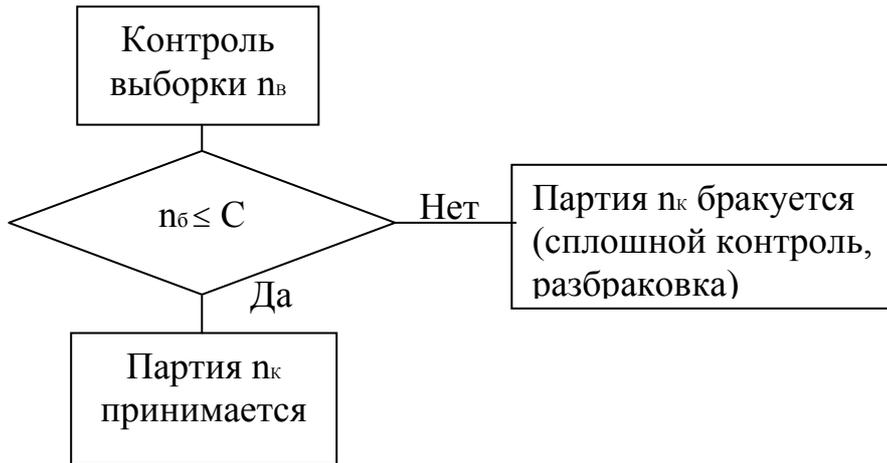


Рис.8. Блок-схема алгоритма одноступенчатого выборочного контроля: n_v – выборка; n_k – подготовительная партия продукции; n_b – число бракованных изделий в выборке; C – приёмочное количество изделий в выборке

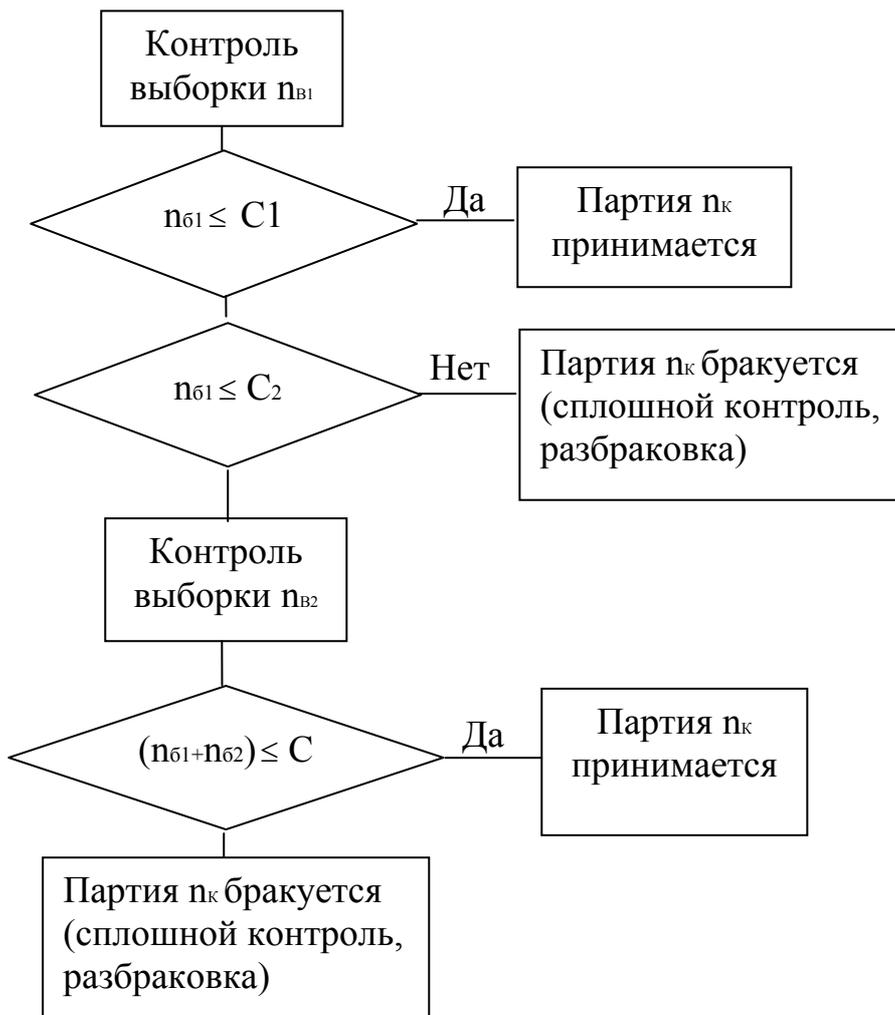


Рис. 9. Блок-схема алгоритма двухступенчатого выборочного контроля: C_1 , C_2 – приёмочное и браковочное значение количества изделий в выборке соответственно

На рис. 10 представлена карта последовательного выборочного контроля. На основе статистического анализа контролируемого процесса берут последовательные выборки (например, по десяти контролируемым изделиям). Для каждой выборки определяют приёмочное и браковочное значение C , в результате чего устанавливают и отмечают на карте области принятия и отклонения партий. Если же контрольная точка попадает в область повторных выборок (между приёмочным и браковочным значениями дефектных изделий), то производят дополнительный контроль ещё одной выборки n_v и по суммарному количеству проконтролированных объектов $\sum n_{vi}$ и по общему количеству дефектных объектов $\sum n_{bi}$ определяют и отмечают на карте контрольные точки а, б, в и т. д. (см. рис. 10).



Рис. 10. Карта последовательного выборочного контроля

Контрольные операции проводят до тех пор, пока контрольная точка не попадёт в область отклонения (например, точка д) или принятия партий (точка г), на основании чего принимают окончательное решение.

Особым видом контроля качества продукции являются испытания. Испытанием называется экспериментальное определение значений параметров и показателей качества продукции в процессе функционирования или при имитации условий эксплуатации.

6.3. Пример расчёта показателей качества проектируемого металлорежущего оборудования

6.3.1. Задание и исходные данные для расчёта

Проанализировать систему показателей качества базового и нового агрегатных станков и определить относительные показатели качества. Дать комплексную оценку качества агрегатного станка (базового и нового) и определить уровень качества нового станка. Действительный годовой фонд времени работы станков – 4015 ч., коэффициент загрузки станков – 0,75. Остальные исходные данные представлены в табл. 11.

6.3.2. Пример расчёта показателей качества

Качество новой продукции устанавливают на основе комплексного анализа её свойств, которые количественно характеризуются одним или несколькими показателями. Выбор номенклатуры показателей качества зависит от цели оценки.

Относительные показатели качества продукции q применяют при оценке уровня качества дифференциальным методом, сущность которого заключается в сопоставлении единичных показателей оцениваемого и базового образца, и определяют по формулам

$$q_i = P_i / P_{iб}; \quad (32,а)$$

$$q_i = P_{iб} / P_i, \quad (32,б)$$

где P_i , $P_{iб}$ – соответственно значения i -го показателя оцениваемого и базового изделий.

Из этих уровней выбирают для конкретного показателя тот, при котором увеличению q отвечает улучшение качества продукции. Например, относительный показатель для производительности станка следует определять по формуле (32,а) ($q_{1.1} = 14 / 12 = 1,17$), а показатель «удельная трудоёмкость» – по формуле (32,б) ($q_{3.2} = 390 / 360 = 1,08$).

В случае, если какой-либо единичный показатель качества оцениваемого изделия окажется хуже подобного показателя базового изделия, то величина q будет меньше 1 ($q < 1$).

Результаты расчёта относительных показателей сводят в таблицу (см. табл. 12) и по её данным определяют комплексный показатель качества продукции. В табл. 12 не вошли экономические показатели, так как с их помощью оценивают обобщающий (интегральный) показатель качества.

11. Единичные показатели качества агрегатных станков

№ пока- зателя	Наименование показателя, единица измерения	Величина показателя станка		Коэффициент весомости показателя
		базового	нового	
1. Показатели назначения				
1.1	Производительность станка, штук/ч	12	14	10
1.2	Точность обработки – отклонение от плоскостности на длине 500 мм, мм	0,06	0,05	8
1.3	Точность обработки – отклонение от параллельности плоскостей на длине 100 мм, мм	0,03	0,025	8
1.4	Шероховатость обработанных поверхностей по параметру R_a , мкм	3,0	2,5	8
2. Показатели надежности и долговечности				
2.1	Срок службы до капитального ремонта, год	8	10	9
2.2	Гарантийный срок, год	1,5	2	9
3. Показатели технологичности				
3.1	Коэффициент сборности (блочности) станка $K_{сб}$, ед.	1,0	1,0	4
3.2	Удельная трудоёмкость, нормо-ч/кВт	390	360	5
3.3	Удельная материалоемкость, кг/кВт	800	780	5
4. Эргономические показатели				
4.1	Соответствие конструкции правилам техники безопасности, балл	5	5	8
4.2	Уровень шума, дБ	80	75	6
5. Эстетические показатели				
5.1	Внешний вид, качество отделки, упаковки, балл	4	5	6
6. Показатели стандартизации и унификации				
6.1	Применяемость унифицированных и стандартных сборочных единиц, %	60	65	8
7. Патентно-правовые показатели				
7.1	Показатель патентной защиты, $P_{п.з}$, ед.	0,13	0,15	6
7.2	Показатель патентной чистоты, $P_{п.ч}$, ед.	1,0	1,0	5
	Итого:			100
8. Экономические показатели				
8.1	Цена станка, руб.	8000	10000	–
8.2	Эксплуатационные расходы, руб./ч	1,64	1,73	–

12. Относительные показатели качества агрегатного станка

Номер показателя по табл. 11	Наименование показателя	Относительный показатель q_i	Слагаемое комплексного показателя $k_i q_i$
1. Показатели назначения			
1.1	Производительность станка	1,17	11,7
1.2	Точность обработки – отклонение от плоскостности на длине 500 мм	1,2	9,6
1.3	Точность обработки – отклонение от параллельности плоскостей на длине 100 мм	1,2	9,6
1.4	Шероховатость R_a обработанных поверхностей	1,2	9,6
2. Показатели надёжности и долговечности			
2.1	Срок службы до капитального ремонта	1,25	11,3
2.2	Гарантийный срок	1,33	6,7
3. Показатели технологичности			
3.1	Коэффициент сборности (блочности) станка	1,0	4,0
3.2	Удельная трудоёмкость	1,08	5,4
3.3	Удельная материалоемкость	1,02	5,1
4. Эргономические показатели			
4.1	Соответствие конструкции правилам техники безопасности	1,0	8,0
4.2	Уровень шума	1,07	6,4
5. Эстетические показатели			
5.1	Внешний вид, качество отделки, упаковки	1,25	6,3
6. Показатели стандартизации и унификации			
6.1	Применяемость унифицированных и стандартных сборочных единиц	1,08	8,6
7. Патентно-правовые показатели			
7.1	Показатель патентной защиты	1,15	6,9
7.2	Показатель патентной чистоты	1,0	5,0
	Итого:		114,2

Комплексный показатель качества продукции $K_{\text{КОМ}}$ можно определить на основании функциональной зависимости его от единичных показателей, когда известны параметры зависимости

$$K_{\text{КОМ}} = f(P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n). \quad (33)$$

Если параметры не известны, $K_{\text{КОМ}}$ определяют методом средневзвешенного арифметического:

$$K_{\text{КОМ}} = \sum k_i \cdot q_i / \sum k_i, \quad (34)$$

где k_i – коэффициент весомости для i -го единичного показателя качества, определяемый экспертным, социологическим или расчётным методом.

В нашем примере нет математической зависимости, описывающей взаимосвязь единичных и комплексного показателей, поэтому используем второй метод. Результаты расчёта произведения $k_i \cdot q_i$ для натурально-вещественных показателей качества заносят в табл. 12 и определяют по зависимости (34) комплексный показатель, количественно характеризующий натурально-вещественные свойства нового станка:

$$K_{\text{КОМ}} = 114,2 / 100,0 = 1,4.$$

Как видно из табл. 12, относительные показатели или равны, или больше единицы. Это означает, что отдельные показатели нового станка находятся на уровне базового, а в большинстве превышают их.

Обобщающий (интегральный) показатель качества $K_{\text{И}}$ определяют по формуле

$$K_{\text{И}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{п.с}}}{I_{\text{с}} + I_{\text{п.п}}}, \quad (35)$$

где $\mathcal{E}_{\text{п.с}}$ – суммарный полезный эффект от потребления продукции; $I_{\text{с}}$ – затраты на создание продукции, руб. (цена станка); $I_{\text{п.п}}$ – затраты на потребление продукции, руб.

В рассматриваемом примере $\mathcal{E}_{\text{п.с}}$ определяют как общее количество обрабатываемых за срок службы заготовок:

$$\mathcal{E}_{\text{п.с}} = V_{\text{ч}} \cdot F_{\text{д}} \cdot K_3 \cdot T, \quad (36)$$

где $V_{\text{ч}}$ – часовая производительность станка; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени станка, ч; K_3 – коэффициент загрузки станка; T – срок службы до капитального ремонта, год.

Для базового станка

$$\mathcal{E}_{\text{п.с.б}} = 12 \cdot 4015 \cdot 0,75 \cdot 8 = 289080 \text{ шт.};$$

для нового станка

$$\mathcal{E}_{\text{п.с.н}} = 14 \cdot 4015 \cdot 0,75 \cdot 10 = 421580 \text{ шт.}$$

Затем определяют затраты на потребление продукции

$$I_{\text{п.п}} = Z_{\text{ч}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_3 \cdot T, \quad (37)$$

где $Z_{\text{ч}}$ – часовые эксплуатационные затраты, руб./ч.

Для базового станка

$$I_{п.п.б} = 1,64 \cdot 4015 \cdot 0,75 \cdot 8 = 39557 \text{ руб.};$$

для нового станка

$$I_{п.п.н} = 1,73 \cdot 4015 \cdot 0,75 \cdot 10 = 52090 \text{ руб.}$$

Обобщающий (интегральный) показатель качества составит:

- для базового станка

$$K_{и.б} = \frac{289080}{8000 + 39557} = 6,08 \text{ шт./руб.};$$

- для нового станка

$$K_{и.н} = \frac{421580}{10000 + 52090} = 6,79 \text{ шт./руб.}$$

Уровень качества нового станка K вычисляют по формуле

$$K = K_{и.н} / K_{и.б}; \quad (38)$$

$$K = 6,79 / 6,08 = 1,12.$$

Небольшое различие величины $K_{ком}$ и K (менее 25 %) свидетельствует о достаточно высокой точности оценки качества агрегатных станков.

Исходные данные для индивидуального выполнения практического занятия № 1 выдает преподаватель каждому студенту согласно варианта индивидуально.

6.4. Задание к практическому занятию № 5.

- Задание:**
1. Составить алгоритмы контроля при одинарной и двойной выборках.
 2. Построить карту последовательного приемочного контроля и показать, после какой выборки принимают окончательное решение о качестве продукции.

К п. 1. По результатам статистического анализа качества процесса изготовления вала редуктора приняты параметры выборочного приемочного контроля с одинарной и двойной выборкой.

Методика разработки алгоритмов достаточно подробно рассмотрена в параграфе 1.2, поэтому пример решения данной задачи представлять не имеет смысла. При выдаче задания студентам конкретные значения объема выпуска изделий N , величины n_b , n_{b1} , n_{b2} и c , c_1 , c_2 задает преподаватель.

К п. 2. Для контроля качества детали используется последовательный приемочный контроль, параметры которого $c_1 = a(n_b - b)$; $c_2 = d + n_b \cdot e$. При этом величина c_1 ограничивает область применения контрольной партии продукции, c_2 – область отклонения контрольной партии. Каждая последовательная выборка составляет f деталей.

Общее количество дефектных деталей при последовательно приводимых выборках и значениях величин a , b , d , e , f задает преподаватель индивидуально каждому студенту.

7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ

7.1. Общие положения

Производственный процесс – это совокупность взаимосвязанных процессов труда и естественных процессов, направленных на изготовление определённой продукции [8].

Производственный процесс по своей структуре и содержанию неоднороден: он состоит из многочисленных частичных процессов, которые делятся на *основные*, или *технологические*, *вспомогательные* и *естественные*. Совокупность частичных процессов образует структуру производственного процесса.

При выполнении основных (технологических) процессов у предмета труда изменяются:

- форма и размеры (например, при обработке материалов резанием, ковкой, штамповкой);
- внутреннее состояние или качество (термическая обработка);
- внешний вид (покраска, гальванопокрытия);
- взаимное положение его частей (сборка и монтаж изделия).

Вспомогательные процессы способствуют протеканию технологических (основных) процессов. Примерами вспомогательных процессов могут служить транспортировка предметов труда, работа ремонтного, инструментального и некоторых других цехов, которые обслуживают основные процессы производства машин.

Естественными процессами считают такие, которые осуществляются в ходе основного или вспомогательного процессов, но не нуждаются в применении труда. К ним относятся, например, естественная сушка окрашенных изделий, остывание отливок, затвердевание клея.

Производственный процесс любого машиностроительного предприятия является сложным, распадающимся на множество простых, элементарных трудовых процессов, совершаемых над отдельными частями данного изделия. Да и само изделие (автомобиль, станок, турбина и др.) есть сложный продукт труда, состоящий из отдельных элементарных частей. Изготовление каждой такой составной части изделия называют *простым процессом*. Он состоит из последовательно выполняемых над данной деталью (заготовкой) технологических действий – операций. Сборку изделия называют *сложным процессом*. Его также можно разбить на ряд последовательно выполняемых операций, в результате которых из отдельных деталей составляют сборочные единицы и в конечном итоге – готовое изделие [2].

Основные задачи в организации производственного процесса: определить цикл простого процесса при различных видах движения партии деталей (заготовок); определить цикл сложного процесса; создать оптимальную планировку на производственных площадях оборудования и других средств технологического оснащения для реализации производственного процесса.

В рамках данного практического занятия решается задача определения цикла простого процесса при различных видах движения партии деталей (заготовок) в производстве.

7.2. Простой производственный процесс

Производственный процесс в первую очередь характеризуется производственным циклом $T_{\text{п}}$ – интервалом календарного времени от начала до окончания процесса изготовления детали.

Производственный цикл является суммой технологического цикла, времени перерывов в производстве в связи с регламентом работы и пролеживанием заготовки или изделий между операциями.

Основная часть производственного цикла – технологический цикл $T_{\text{т}}$, состоящий из операционных циклов $T_{\text{оп}i}$. Операционный цикл – это продолжительность законченной части технологического процесса, выполняемой на одном рабочем месте:

$$T_{\text{оп}i} = n \cdot T_{\text{шт.к}} / \omega_i, \quad (39)$$

где n – размер партии деталей (заготовок), шт; $T_{\text{шт.к}}$ – штучно-калькуляционное время (норма времени) на операцию, мин/шт; ω_i – число рабочих мест на операции, шт.

Технологический цикл многооперационного процесса не является арифметической суммой операционных циклов. Его длительность зависит от способа передачи деталей (заготовок) с операции на операцию (вида движения): последовательного, параллельно-последовательного, параллельного.

При последовательном виде движения вся партия заготовок передаётся на последующую операцию лишь после окончания обработки всех заготовок на предыдущей операции. Длительность цикла технологического процесса в этом случае определяется суммой операционных циклов

$$T_{\text{т.пос}} = n \cdot \sum_{i=1}^u T_{\text{шт.к}i} / \omega_i, \quad (40)$$

где u – количество операций технологического процесса.

Длительность производственного цикла $T_{\text{п.пос}}$ включает кроме того, естественные процессы $T_{\text{е}}$, межоперационные перерывы $T_{\text{мо}}$ и перерывы, связанные с режимом работы $T_{\text{реж}}$:

$$T_{п.пос} = n \cdot \sum_{i=1}^u T_{шт.к_i} / \omega_i + T_e + u \cdot T_{мо} + T_{реж} . \quad (41)$$

Для определения производственного цикла в календарных днях следует принимать во внимание длительность рабочей смены $T_{см}$, число смен в сутки f и соотношение между рабочими и календарными днями в году «к». Количество рабочих дней ежегодно изменяется, но в расчетах можно принимать $k \approx 258 / 365 \approx 0,706$ [8].

Таким образом, производственный цикл, выраженный в календарных днях, определяется формулой

$$T_{п.пос} = \frac{1}{T_{см} \cdot f \cdot k} \left(n \cdot \sum_{i=1}^u T_{шт.к_i} / \omega_i + u \cdot T_{мо} \right) + \frac{T_e}{24} . \quad (42)$$

При параллельно-последовательном виде движения детали (заготовки) с операции на операцию передаются транспортными партиями n_τ , или поштучно ($n_\tau = 1$). При этом происходит частичное совмещение времени выполнения смежных операций, а вся партия n обрабатывается на каждой операции без перерывов. Длительность технологического цикла $T_{т.пп}$ в этом случае меньше, чем при последовательном виде движения, на суммарную величину совмещения операционных циклов:

$$T_{т.пп} = T_{т.пос} - \sum_{i=1}^{u-1} \tau_i , \quad (43)$$

а длительность производственного цикла

$$T_{п.пп} = n \cdot \sum_{i=1}^u T_{шт.к_i} / \omega_i - \sum_{i=1}^{u-1} \tau_i + u \cdot T_{мо} + T_e + T_{реж} , \quad (44)$$

где τ_i – время совмещения смежных операций, мин.

Этот вид движения, сокращая время пролеживания, уменьшает продолжительность всего процесса. Степень параллельности работ в производственном цикле характеризуется коэффициентом параллельности

$$K_{п.п} = T_{п.пп} / T_{п.пос} . \quad (45)$$

Следует учитывать соотношение операционных циклов на предыдущей и последующей операциях. Если операционный цикл на предыдущей операции меньше, чем на последующей, т. е. $T_{оп_i} < T_{оп_{i+1}}$, обработка транспортной партии на последующей операции возможна сразу после окончания обработки её на предыдущей, так как будет создан необходимый задел, обеспечивающий непрерывную работу на последующей операции. В этом случае для двух смежных операций длительность цикла

$$T_{т.пп} = T_{т.пос} - \tau_i ;$$

при этом

$$\tau_i = n \cdot T_{шт.к_i} / \omega_i - n_\tau \cdot T_{шт.к_i} / \omega_i = (n - n_\tau) \cdot T_{шт.к_i} / \omega_i .$$

Если операционный цикл на предыдущей операции больше, чем на последующей, т. е. $T_{оп} > T_{оп}$, то после обработки транспортной партии на предыдущей операции её нельзя сразу передать на последующую, поскольку не будет создан задел для обеспечения непрерывной работы. Начало обработки на последующей операции определяют из условия, что последняя транспортная партия после обработки на предыдущей операции немедленно передаётся на последующую. Тогда для двух смежных операций длительность цикла

$$T_{т.пп} = T_{т.пос} - \tau_i ;$$

но в этом случае

$$\tau_i = n \cdot T_{шт.к_{i+1}} / \omega_{i+1} - n_{\tau} \cdot T_{шт.к_{i+1}} / \omega_{i+1} = (n - n_{\tau}) \cdot T_{шт.к_{i+1}} / \omega_{i+1} .$$

Сравнение значений $T_{шт.к} / \omega_i$ при определении величины совмещения для двух случаев показывает, что они соответствуют операции с более коротким операционным циклом. Следовательно,

$$\tau_i = (n - n_{\tau}) \cdot (T_{шт.к_i} / \omega_i)_{\min} .$$

Подставляя значение τ_i в формулы (43) и (44), получим:

- технологический цикл

$$T_{п.пп} = n \cdot \sum_{i=1}^u T_{шт.к_i} / \omega_i - (n - n_{\tau}) \cdot \sum_{i=1}^{u-1} \tau_i (T_{шт.к_i} / \omega_i)_{\min} ; \quad (46)$$

- производственный цикл

$$T_{п.пп} = n \cdot \sum_{i=1}^u T_{шт.к_i} / \omega_i - (n - n_{\tau}) \cdot \sum_{i=1}^{u-1} \tau_i (T_{шт.к_i} / \omega_i)_{\min} + u \cdot T_{мо} + T_e + T_{реж} . \quad (47)$$

Производственный цикл в календарных днях при параллельно-последовательном виде движения

$$T_{п.пп} = \frac{1}{T_{см} \cdot f \cdot K} \left[n \cdot \sum_{i=1}^u T_{шт.к_i} / \omega_i - (n - n_{\tau}) \cdot \sum_{i=1}^{u-1} (T_{шт.к_i} / \omega_i)_{\min} + u \cdot T_{мо} \right] + \frac{T_e}{24} . \quad (48)$$

При параллельном виде движения транспортные партии передаются на следующие операции сразу после окончания их обработки на предыдущих операциях. В этом случае обеспечивается наиболее короткий цикл. В случае параллельного вида движения транспортных партий технологический цикл

$$T_{т.пар} = (n - n_{\tau}) \cdot (T_{шт.к_i} / \omega_i)_{\max} + n_{\tau} \sum_{i=1}^{u-1} T_{шт.к_i} / \omega_i , \quad (49)$$

а производственный цикл

$$T_{т.пар} = (n - n_{\tau}) \cdot (T_{шт.к_i} / \omega_i)_{\max} + n_{\tau} \sum_{i=1}^{u-1} T_{шт.к_i} / \omega_i + u \cdot T_{мо} + T_e + T_{реж} . \quad (50)$$

Производственный цикл в календарных днях при параллельном виде движения

$$T_{п.пп} = \frac{1}{T_{см} \cdot f \cdot K} \left[(n - n_{\tau}) \cdot (T_{шт.к_i} / \omega_i)_{\max} + n_{\tau} \sum_{i=1}^{u-1} T_{шт.к_i} / \omega_i + u \cdot T_{мо} \right] + \frac{T_e}{24} . \quad (51)$$

Каждый из трёх рассмотренных способов (видов) движения предметов труда имеет свои достоинства и недостатки. Основным преимуществом последовательного вида движения является простота его организации в отношении планирования движения предметов труда и загрузки рабочих мест. Недостаток заключается в относительно большой длительности производственного цикла. Эта последняя при параллельно-последовательном виде движения короче, чем при последовательном, но в этом случае достаточно сложны предварительные расчеты при планировании производства и оперативное регулирование и управление им. Основное преимущество параллельного вида движения заключается в минимальной длительности цикла, а недостаток – в неизбежных простоях оборудования при нарушении ритмичности и синхронизации процесса.

При выборе вида движения предметов труда необходимо учитывать специфику и форму организации производства на каждом предприятии с целью обеспечения минимальной длительности производственного цикла при минимальных затратах и достаточной простоте управления производством.

7.3. Пример расчёта производственного цикла простого процесса

Исходные данные.

Требуется определить длительность технологического и производственного циклов обработки партии заготовок из 15 шт. и построить графики производственных процессов при различных видах движения.

Величина транспортной партии равна пяти заготовкам; нормы времени по операциям соответственно 2,0; 3,0; 4,5; 2,0; 1,0 мин/шт. На пятнадцатой операции установлено два станка, на остальных – по одному. Среднее межоперационное время перерывов – 2 мин. Работа производится в две смены. Длительность смены – 8 ч., длительность естественных процессов – 30 мин.

Пример расчета.

Для последовательного вида движения предметов труда операционный цикл определяют по зависимости (39):

$$T_{\text{оп5}} = 15 \cdot 2 / 1 = 30 \text{ мин.}; T_{\text{оп10}} = 15 \cdot 3 / 1 = 45 \text{ мин.}; T_{\text{оп15}} = 15 \cdot 4,5 / 1 = 33,7 \text{ мин.}; \\ T_{\text{оп20}} = 15 \cdot 2 / 1 = 30 \text{ мин.}; T_{\text{оп25}} = 15 \cdot 1 / 1 = 15 \text{ мин.}$$

Технологический цикл рассчитывают по формуле (40):

$$T_{\text{т.пос}} = 15 (2/1 + 3/1 + 4,5/2 + 2/1 + 1/1) = 153,75 \text{ мин.}$$

Производственный цикл в календарных днях находят по формуле (42):

$$T_{\text{п.пос}} = 1/480 \cdot 2 \cdot 0,706 \cdot [15 (2/1 + 3/1 + 4,5/2 + 2/1 + 1/1) + 2 \cdot 5] + 30/24 \cdot 60 = 0,26 \text{ дня.}$$

По результатам расчётов строят график производственного цикла при последовательном виде движения (рис. 11, а).

Для параллельно-последовательного вида движения операционные циклы будут такими же, как и в предыдущем случае, а технологический цикл устанавливается по зависимости (46):

$$T_{\text{т.п.п}} = 153,75 - (15 - 5) (2/1 + 4,5/2 + 2/1 + 1/1) = 81,25 \text{ мин.}$$

Производственный цикл в календарных днях находят по формуле (48)

$$T_{\text{п.п.п}} = 1/480 \cdot 2 \cdot 0,706 \cdot [153,75 - (15 - 5) (2/1 + 4,5/2 + 2/1 + 1/1) + 2 \cdot 5] + 30/24 \cdot 60 = 0,17 \text{ дня.}$$

В этом случае при построении графика производственного цикла следует учесть соотношение операционных циклов на предыдущих и последующих операциях, для чего определяют величину совмещения операционных циклов τ_i по формуле

$$\tau_i = (n - n_T) \cdot (T_{\text{шт.ки}} / \omega_i)_{\min}.$$

В парах операций (5 – 10), (10 – 15), (15 – 20), (20 – 25) меньший операционный цикл имеют операции 5, 15, 20, 25, следовательно $i = 5, 15, 20, 25$.

$$\tau_5 = (15 - 5) \cdot 2/1 = 20 \text{ мин.};$$

$$\tau_{15} = (15 - 5) \cdot 4,5/1 = 22,5 \text{ мин.};$$

$$\tau_{20} = (15 - 5) \cdot 2/1 = 20 \text{ мин.};$$

$$\tau_{25} = (15 - 5) \cdot 1/1 = 10 \text{ мин.}$$

По полученным результатам строят график производственного цикла при параллельно-последовательном виде движения (рис. 11, б).

При параллельном виде движения длительность технологического цикла определяют по зависимости (49):

$$T_{\text{т.пар}} = (15 - 5) \cdot 3/1 + 5 (2/1 + 4,5/2 + 2/1 + 1/1) = 66,25 \text{ мин.}$$

Производственный цикл в календарных днях находят по зависимости (51):

$$T_{\text{п.пар}} = 1/480 \cdot 2 \cdot 0,706 \cdot [(15 - 5) \cdot 3/1 + 5 (2/1 + 4,5/2 + 2/1 + 1/1) + 2 \cdot 5] + 30/24 \cdot 60 = 0,15 \text{ дня.}$$

При построении графика производственного цикла с параллельным видом движения сначала отмечают последовательную обработку первой транспортной партии без задержки по всем операциям (рис. 11, в). После этого на графике отражают непрерывную обработку всех остальных передаточных партий на операции с максимальным операционным циклом (10 операция). Затем определяют момент начала и окончания обработки каждой партии на остальных операциях с учётом времени межоперационного пролеживания.

7. 4. Задание к практическому занятию № 6

Индивидуальное задание студентам выдает преподаватель в виде чертежа или эскиза, по которому студент разрабатывает технологический процесс и определяет длительность технологического и производственного циклов обработки партии заготовок и строит графики производственных процессов при последовательном, параллельно–последовательном и параллельном видах движения.

8. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

8.1. Общие положения

В машиностроении и ряде других отраслей промышленности используют разнообразные механизированные поточные линии. Классификация поточных линий определяется рядом признаков, в соответствии с которыми можно выделить, например, однономенклатурные и многономенклатурные линии, синхронизированные линии с рабочим и распределительным конвейерами, линии с регламентированным и со свободным ритмами, с непрерывным и пульсирующим движениями конвейера и т. д. [9 – 11].

В рамках практического занятия № 7 решают вопросы организации и расчёта механизированных поточных линий с рабочим конвейером. Для выполнения расчёта следует определиться с параметрами (показателями), достаточно полно характеризующими данный тип поточных линий.

Такт выпуска продукции

$$T_T = F_c / П_c, \quad (52)$$

где F_c – суточный фонд времени работы линии, ч, мин; $П_c$ – суточное плановое задание, шт.

Программа запуска $П_{з.с}$ равна при отсутствии брака программе выпуска $П_{в.с}$.

Ритм выпуска продукции

$$T_p = П_c / F_c.$$

Такт линии с регламентированными перерывами

$$T_{т.р.п} = f \cdot (T_{см} - T_{пер}) \cdot (100 - a) / П_a \cdot 100, \quad (53)$$

где f – число рабочих смен в сутки; $T_{см}$ – продолжительность смены, ч; a – планируемые технологические потери (брак), % от $П_{з.с}$.

При наличии технологических потерь

$$T_{з.с} = 100 \cdot П_{в.с} / (100 - a). \quad (54)$$

Такт линии без регламентированных перерывов

$$T_{т.б.п} = T_{см} \cdot f \cdot (100 - a) \cdot П_{в.с} \cdot 100, \quad (55)$$

Расчётное число рабочих мест (единиц оборудования) для выполнения i -й операции

$$w_{ip} = t_{i \text{ шт-к}} / T_T, \quad (56)$$

где $t_{i \text{ шт-к}}$ – норма времени на выполнение i -й операции (штучно-калькуляционное время).

Коэффициент загрузки оборудования на каждой операции

$$K_{з.oi} = 100 \cdot w_{ip} / w_{iф}, \quad (57)$$

где $w_{iф}$ – фактически принятое число рабочих мест на i -й операции.

Число рабочих на i -й операции

$$R_i = w_{if} \cdot f / w_{ин.о}, \quad (58)$$

где $w_{ин.о}$ – норма обслуживания на i -й операции.

Общее число рабочих на линии

$$R_0 = (1 + b/100) \cdot \sum_{i=1}^m R_i, \quad (59)$$

где b – численность (в процентах) дополнительных рабочих на подмену основного состава в случае необходимости ($b \approx (2 - 3) \%$).

Далее для расчёта длительности производственного цикла изготовления детали или сборки изделия определяют параметры, характеризующие непосредственно рабочий конвейер.

Шаг конвейера l_0 – это расстояние между осями двух смежных собираемых на конвейере изделий:

$$l_0 = l_{об} + l_{пр}, \quad (60)$$

где $l_{об}$ – габаритная длина объекта, м; $l_{пр}$ – промежуток между объектами на конвейере, (0,2 – 0,3) м.

Скорость движения конвейера

$$V_{кв} = l_0 / T_T. \quad (61)$$

Как правило, $V_{кв} = (0,3 - 2)$ м/мин.

Нормальная длина зоны каждой операции

$$l_{ни} = l_0 \cdot t_{шт-к} / T_T = l_0 \cdot w_{иф}. \quad (62)$$

Резервная длина зоны i -й операции

$$l_{pi} = l_0 \cdot \Delta_i, \quad (63)$$

где Δ_i – число резервных делений, которое необходимо добавить к $l_{ни}$:

$$\begin{aligned} \Delta_i &= (t_{i \max} - t_{icc}) / T_T; \\ t_{icc} &= (t_{i \max} + t_{i \min}) / 2, \end{aligned} \quad (64)$$

где $t_{i \max}$, $t_{i \min}$, $t_{i \text{cp}}$ – соответственно максимальная, минимальная и средняя продолжительность i -й операции.

Общая длина зоны i -й операции

$$l_i = l_{ни} + l_{pi} = l_0 (w_{icp} + \Delta_i). \quad (65)$$

Длина рабочей части конвейера

$$l_k = l_0 \left[\sum_{j=1}^m w_{jф} + \sum_{i=1}^{m_0} (w_{иф} + \Delta_i) \right], \quad (66)$$

где m , m_0 – соответственно количество операций со стабильной продолжительностью и с колебаниями её в пределах от $t_{i \min}$ до $t_{i \max}$; $w_{jф}$ – количество рабочих мест на j -й операции со стабильной продолжительностью.

Длительность производственного цикла изготовления на линии детали (изделия)

$$T_{ц} = \ell_{к} / V_{кв} = T_{т} \left[\sum_{j=1}^m w_{j\phi} + \sum_{i=1}^{m_0} (w_{i\phi} + \Delta_i) \right]. \quad (67)$$

Количество изготовленных объектов, находящихся одновременно на конвейере,
 $\Pi_0 = T_{ц} / T_{т}.$ (68)

8.2. Пример расчёта механизированной поточной линии с рабочим конвейером

Необходимо рассчитать такт линии, предназначенной для сборки блоков автомобильных двигателей с выпуском 350 шт. в смену. Шаг конвейера – 1,3 м. Регламентированные перерывы составляют 20 мин за смену, продолжительность которой – 8,2 ч; режим работы – двухсменный. Технологические потери – 1,4 % от сменной программы запуска. Продолжительность операций процесса сборки:

Номер операции	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Норма времени, мин	2,6	8,3	2,4	2,6	5,5	7,8	5,2	4,8	1,2

При выполнении десятой операции возможны отклонения фактических затрат времени от нормы в пределах (0,7 – 1,3) мин.

Порядок выполнения расчёта следующий.

Исходя из требуемой программы выпуска блоков автомобильных двигателей, определяют сменную программу запуска:

$$\Pi_3 = 100 \cdot \Pi_в / (100 - a);$$

$$\Pi_3 = 100 \cdot 350 / (100 - 1,4) = 355 \text{ шт.}$$

Сменный действительный фонд времени работы линии $F_{см}$ находят исходя из продолжительности смены с учётом регламентированных перерывов для отдыха и профилактических мероприятий:

$$F_{см} = T_{см} - T_{пер};$$

$$F_{см} = 8,2 \cdot 60 - 20 = 472 \text{ мин.}$$

Такт линии по зависимости (52)

$$T_{т} = 472 / 355 = 1,33 \text{ мин.}$$

Так как по условию задачи шаг конвейера $\ell_0 = 1,3$ м, то скорость конвейера (см. зависимость (61))

$$V_{кв} = 1,3 / 1,33 = 0,98 \text{ м/мин.}$$

Затем по зависимости (56) рассчитывают количество рабочих мест, необходимых для сборки блока цилиндров автомобильного двигателя, принимают значение $w_{i\phi}$, определяют по зависимости (57) коэффициент загрузки рабочих мест $K_{з.о.i}$, а по зависимости (62) – длины зон операций $\ell_{ни}$ (62).

Результаты расчёта заносят в табл. 14.

14. Результаты расчета

№ операции	$t_{i \text{ шт-к.}}$, мин	w_{ip} , шт.	$w_{i\phi}$, шт.	$K_{з.о.и}$, %	l_{ni} , м
5	2,6	1,95	2	98	2,6
10	8,3	6,24	6	104	7,8
15	2,4	1,80	2	90	2,6
20	2,6	1,95	2	98	2,6
25	5,5	4,14	4	104	5,2
30	7,8	5,86	6	98	7,8
35	5,2	3,91	4	98	5,2
40	4,8	3,61	4	90	5,2
45	1,2	0,90	1	90	1,3

Общее число рабочих мест на линии составит

$$w = \sum_{i=1}^9 w_{i \text{ факт}} = 31 \text{ шт.}$$

Количество рабочих на линии при $b = 3\%$ и $R_i = w_{i\phi}$ по зависимости (59):

$$R_{cm} = (1 + 3 / 100) = 31,93 \text{ чел.} \approx 32 \text{ чел.}$$

С учётом двухсменной работы на линии принимаем $R_o = 64$ чел.

Длина резервной зоны для десятой операции равна $l_{p10} = 0 \cdot \Delta_{10} \cdot (3 \cdot 12)$, где Δ_{10} – число резервных делений (шагов конвейера), добавляемых к нормальной зоне десятой операции, т.е. $\Delta_{10} = 1,3 / 1,33 = 0,98 \approx 1$.

Тогда длина линии рабочей зоны десятой операции $l_{10} = l_{ni10} + l_{p10}$:

$$l_{10} = 1,3 \cdot 6 + 1,3 \cdot 1 = 9,1 \text{ м.}$$

Длительность цикла сборки блока цилиндров автомобильного двигателя по зависимости (67)

$$T_{ц} = T_{т} \cdot \sum_{i=1}^9 w_{i\phi} + l_{p10} / V_{кв} = 1,33 \cdot 31 + 1,3 / 0,98 = 42,56 \text{ мин.} = 0,71 \text{ ч.}$$

Таким образом, такт линии $T_{т} = 1,33$ мин.; число рабочих мест $w = 31$ шт.; цикл сборки блока цилиндров автомобильного двигателя $T_{ц} = 0,71$ ч.

8. 3. Задание к практическому занятию № 7

Задание: рассчитать такт линии, предназначенной для сборки изделий и длительность цикла сборки. Величины длительности операций и программы

выпуска изделий выбирают из табл. 13; остальные данные берут из примера параграфа 8.2.

Задание, согласно номеру варианта по табл. 13, выдаёт преподаватель.

13. Исходные данные для расчета сменной программы запуска

№ варианта	Продолжительность операции, мин.										Программа выпуска изделий P _в , шт.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	8,3*	2,6	2,6	2,4	5,5	4,8	7,8	1,2	2,2	6,3	200
2	1,2	3,4	6,6*	5,3	3,5	4,6	2,1	3,1	4,2	1,6	300
3	2,5	2,6	1,4	7,6*	5,4	6,2	3,1	1,7	2,0	2,8	220
4	5,6	6,4	2,1	1,2	1,3	2,2	6,4*	4,2	3,7	1,2	250
5	1,6	2,2	2,5	6,8	8,3*	5,4	4,2	2,6	2,6	1,3	370
6	2,0	5,6	7,4*	3,2	2,6	2,4	3,5	5,2	2,7	1,4	400
7	3,2	6,3*	3,4	1,3	1,8	2,2	3,5	5,1	4,1	2,7	350
8	1,4	2,6	8,2*	5,6	2,8	1,8	3,2	2,5	6,0	1,5	290
9	2,5	3,5	5,3	1,5	4,5	7,0*	7,1	1,8	5,5	3,0	320
10	1,9	2,8	3,7	4,6	2,5	8,5*	4,0	1,5	1,9	2,2	420
11	3,1	2,6	6,1*	7,0	5,5	1,8	1,5	3,7	4,1	2,1	330
12	5,0	6,2*	4,1	1,7	2,2	3,2	2,6	5,1	1,4	4,3	350
13	2,6	5,8	4,1	8,3*	2,4	2,6	5,5	7,8	5,2	4,8	400
14	1,2	3,7	4,8	5,2	7,8	5,5	2,6	2,4	8,3*	2,5	200
15	3,6	5,6	4,1	2,8	8,2*	2,6	1,4	1,8	3,2	2,5	270
16	1,4	2,6	5,6	7,4*	3,2	2,6	2,4	3,5	5,2	2,7	310
17	3,0	5,5	1,8	7,1	7,0*	4,5	5,6	3,5	2,5	2,0	330
18	9,1*	6,2	1,2	2,5	2,6	4,3	3,4	1,8	2,0	3,9	350
19	1,9	2,6	2,4	2,6	8,5*	5,2	4,1	1,8	2,9	3,3	370
20	4,1	2,8	7,9*	3,6	5,6	4,1	2,6	1,4	1,8	3,2	360
21	6,3	4,2	1,2	7,8*	4,6	5,5	2,4	2,6	2,5	3,4	340
22	3,7	9,6*	2,6	6,1	7,0	5,5	1,8	1,5	3,7	4,1	390
23	2,0	2,5	8,3*	2,4	3,2	7,4	2,6	2,6	3,7	1,2	380
24	6,0	2,3	8,9*	3,1	1,3	6,2	4,3	3,4	1,8	1,5	280
25	3,7	8,0*	1,9	2,3	3,2	4,6	5,1	3,7	4,1	6,0	300

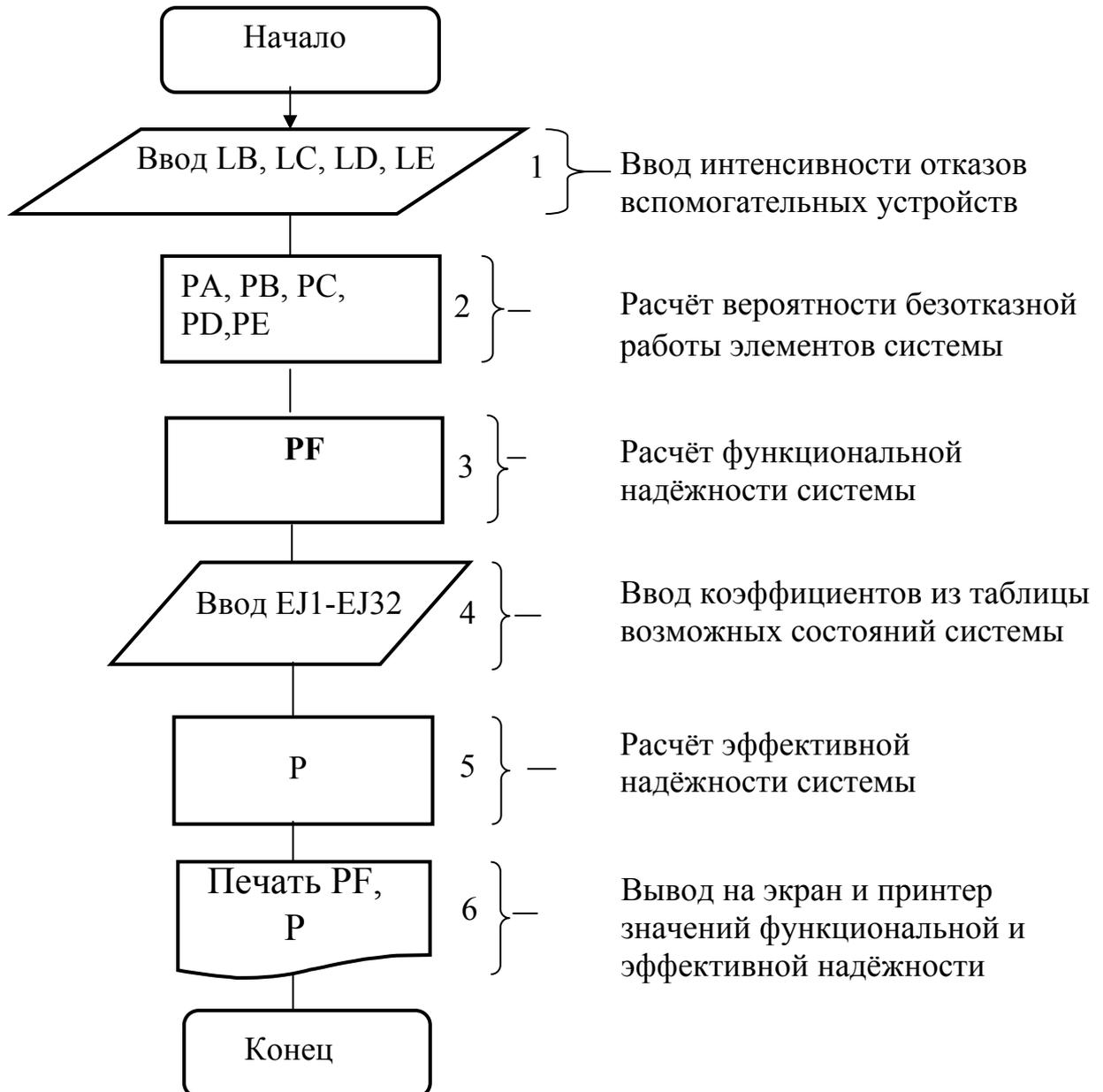
* – Операции, при выполнении которых возможны отклонения до 10 % фактических затрат времени от нормы.

**Таблица перевода символов формул в символы программы
"Management of process and objects of machine-building (MPOM)"**

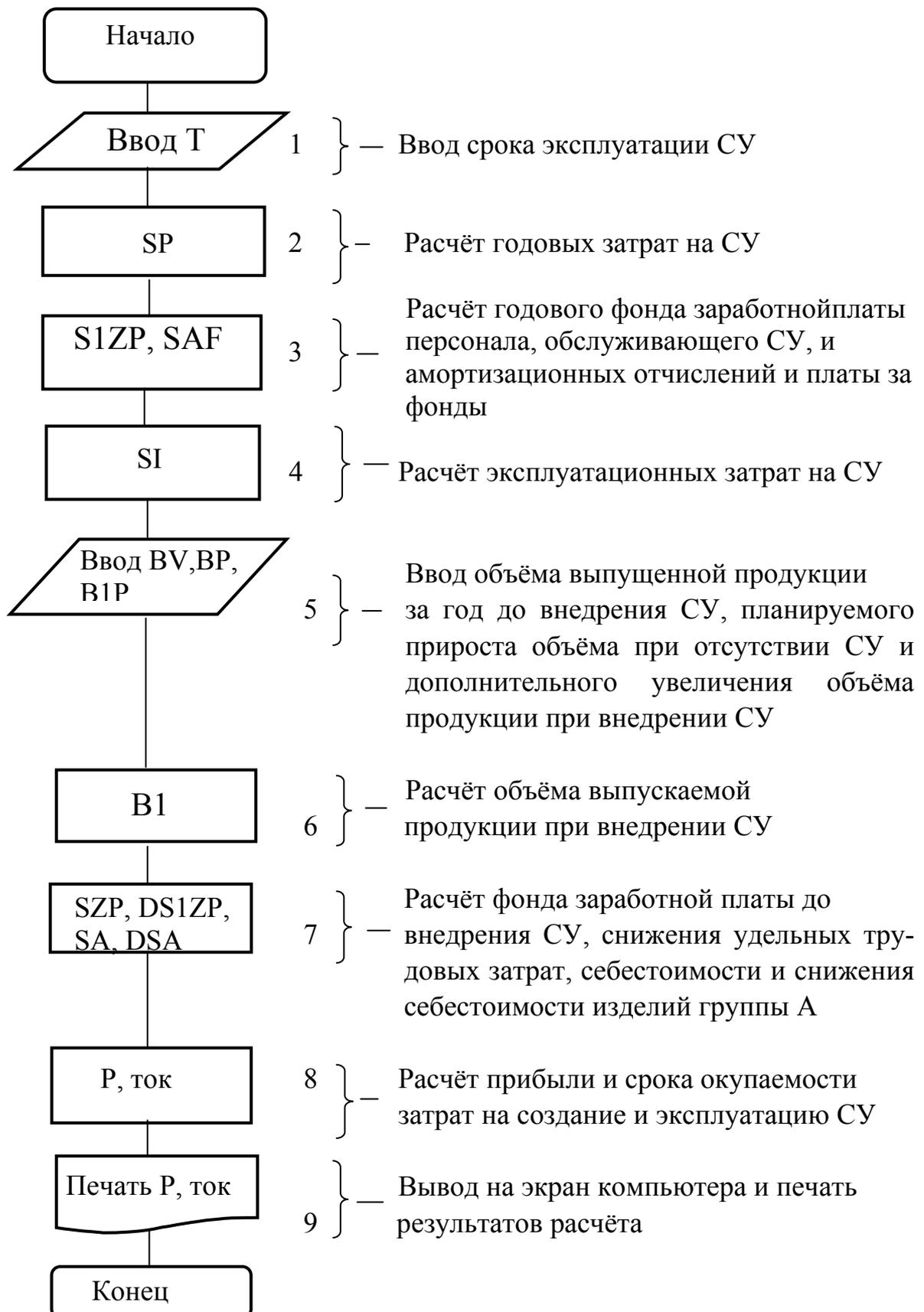
Величина	Символ в формуле	Символ в программе
1	2	3
Программа МРОМ 1		
Интенсивность отказов устройств	λ_A λ_B λ_C λ_D λ_E	LA LB LC LD LE
Функциональная надёжность системы	P_ϕ	PF
Весовые категории возможных состояний системы	$E_{j1} - E_{j32}$	EJ1 – EJ32
Эффективная надёжность системы	P_ρ	P
Программа МРОМ 2		
Объём выпущенной продукции за прошедший год до внедрения СУ	B_B	BV
Планируемый прирост объёма выпускаемой продукции без СУ	B_n	BP
Дополнительное увеличение объёма выпускаемой продукции при внедрении СУ	B'_n	B1P
Длительность эксплуатации СУ	T	T
Объём выпускаемой продукции после внедрения АСУТП	B'	B1
Себестоимость единицы продукции при функционировании СУ	S_i	SI
Снижение себестоимости единицы продукции	ΔS_i	DSI
Прибыль от внедрения СУ	P'	P
Срок окупаемости СУ	T_{OK}	TOK

Окончание приложения 1

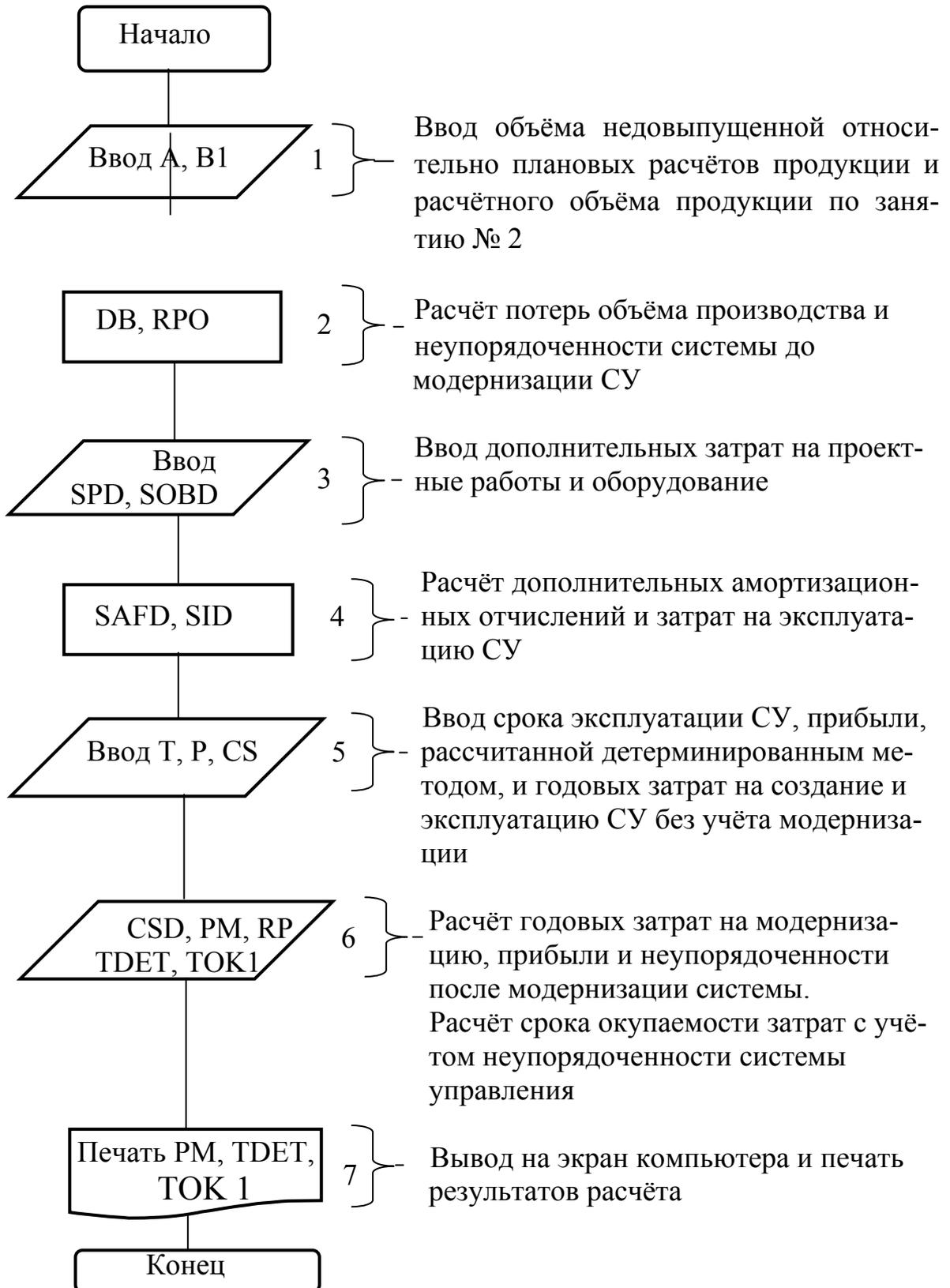
1	2	3
Программа МРОМ 3		
Объём невыпущенной относительно плановых расчётов продукции	A	A
Доля стоимости проектных работ при модернизации системы	A ₁	A1
Доля стоимости затрат на оборудование при модернизации системы	A ₂	A2
Длительность эксплуатации системы	T	T
Объём выпущенной продукции за год после внедрения системы	B'	B1
Прибыль, полученная от внедрения СУ	P'	P
Годовые затраты на создание и эксплуатацию системы	C _C	CS
Неупорядоченность системы	r _n	RP
Прибыль с учётом неупорядоченности СУ	P	PM
Неупорядоченность системы после внедрения АСУТП	r _{no}	RPO
Срок окупаемости модернизированной СУ, рассчитанный:		
- детерминированным методом	T _{ОКО}	TDET
- с учётом неупорядоченности	T' _{ОК}	TOK1

Блок-схема алгоритма программы МРОМ 1

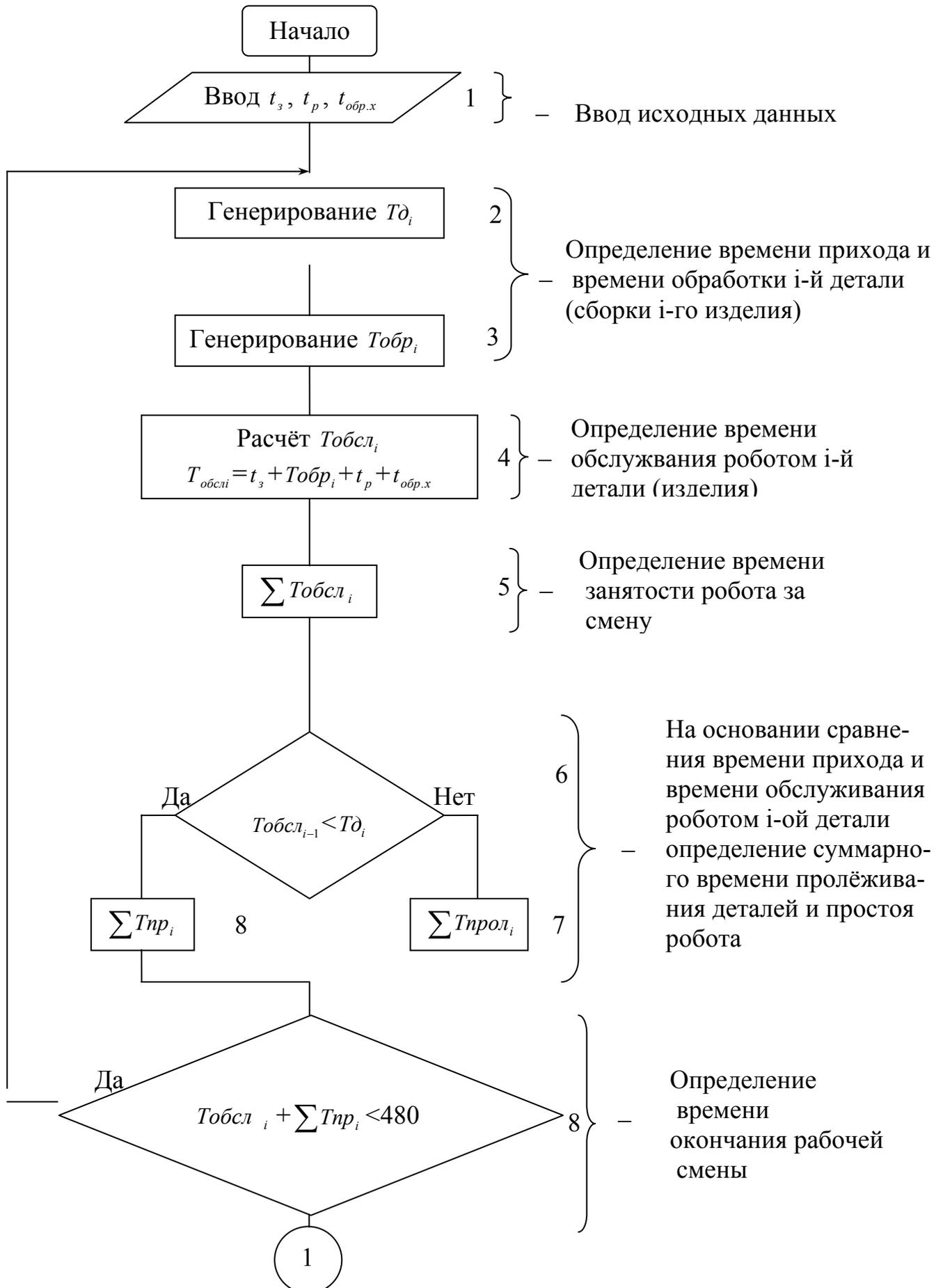
Блок-схема алгоритма программы МРОМ2



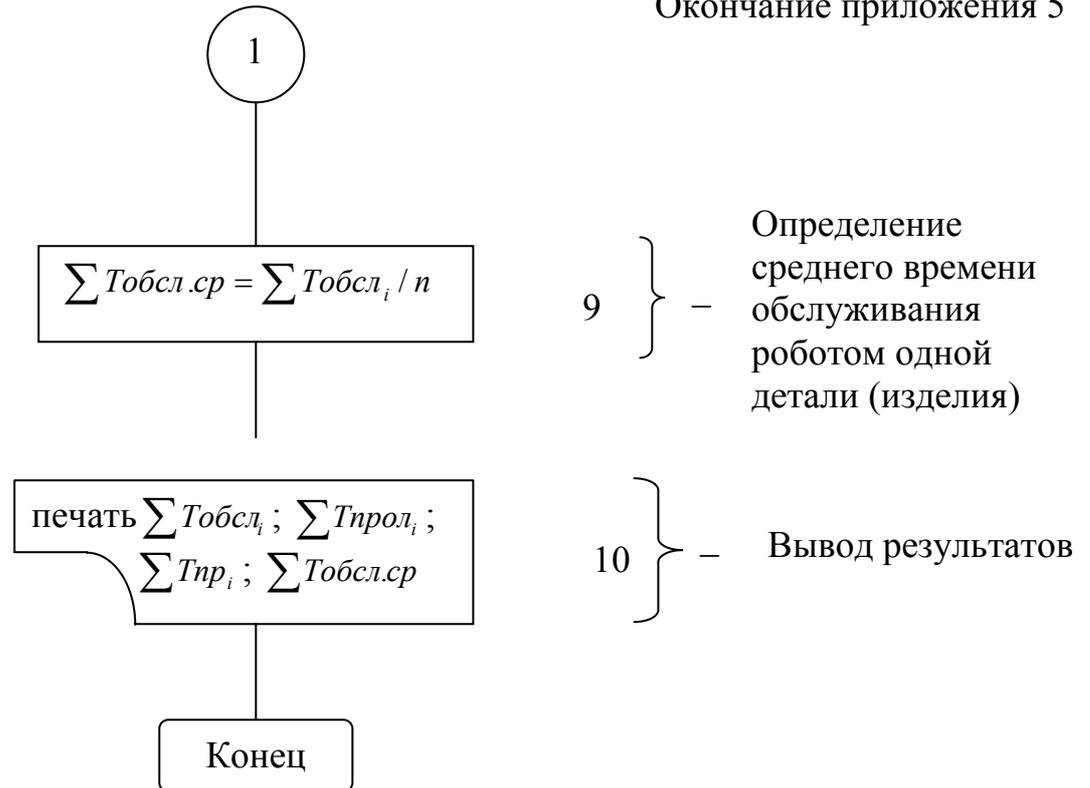
Блок – схема алгоритма программы МРОМЗ



Блок-схема алгоритма программы МРОМ4



Окончание приложения 5



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайрадян Л. С. Надёжность автоматизированных систем управления / Л. С. Вайрадян, Ю. Н. Федосеев; Под ред. Я. А. Хетагурова. Ч. 1, 2. – М.: МИФИ, 1974.
2. Вальков В. М. Автоматизированные системы управления технологическими процессами / В. М. Вальков, В. Е. Вершин. – Л.: Политехника, 1991. – 269 с.
3. Трапезников В. А. Автоматическое управление и экономика // Автоматика и телемеханика. – 1966. № 1. – С. 5 – 22.
4. Алексеев Г. Н. Энергия и энтропия / Г. Н. Алексеев. – М.: Знание, 1988. – 192 с.
5. Смирнов С. В. Управление машиностроительным предприятием / С.В. Смирнов, С. Н. Ефимушкин, А. А. Колобов / Под ред. С. Г. Пуртова, С. В. Смирнова. – М.: Высшая школа, 1989. – 240 с.
6. Родионов Б. Н. Организация, планирование и управление машиностроительным производством: Учеб. пособие для студентов машиностроительных вузов / Б. Н. Родионов, Н. А. Соломатин, Л. Г. Осадчий / Под ред. Б. М. Родионова. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
7. Советов Б. Я. Автоматизированное управление современным предприятием / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 168 с.
8. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием: Учебник в 2 ч. Ч. 1. Организация и управление машиностроительным предприятием / Под ред. В. А. Летенко, Б. М. Родионова. – М.: Высшая школа, 1979. – 296 с.
9. Худобин Л. В. Разработка технологических процессов сборки в курсовых и дипломных проектах: Учебное пособие / Л. В. Худобин, В. Ф. Гурьянин, В. Р. Берзин. – Ульяновск: УлГТУ, 1995. – 80 с.
10. Гурьянин В. Ф. Проектирование технологических процессов обработки заготовок в ГПС: Учебное пособие / Под ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск: УлПИ, 1994. – 108 с.
11. Рязанов С. И. Технологические процессы отраслей. 4.3. Нормирование и организация технологических процессов: Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Технологические процессы отраслей» для студентов направления 521500 – Менеджмент / С. И. Рязанов, Ю. В. Псигин. – Ульяновск: УлГТУ, 1999. – 28 с.

Учебное пособие
ПСИГИН Юрий Витальевич
Управление системами и процессами
машиностроения

Учебное пособие

Редактор Н. А. Евдокимова

Подписано в печать 30.11.2003. Формат 60 × 84 1/16. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,00. Тираж 200 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет,

432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32