



ПРОЕКТИРОВАНИЕ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Р 50-54-85-88

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
(Госстандарт СССР)

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по нормализации в машиностроении
(ВНИИНМАШ)

Утверждены

Приказом ВНИИНМАШ

№ 187 от 28.06.1988 г.

Проектирование роботизированных технологических
процессов

Р е к о м е н д а ц и и

Р 50-54-85-88

Москва 1988

УДК 658.512:006.354

Группа Т58

РекомендацииПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Р 50-54-85-88

ОКСТУ 0014

Срок введения с 1 января 1989 г.

Настоящие рекомендации (Р) предназначены для унификации правил и методов проектирования роботизированных технологических процессов изготовления изделий машиностроения, приборостроения и металлообработки.

Р устанавливают правила, этапы и задачи проектирования роботизированных технологических процессов в системе технологической подготовки производства, применение САПР технологических процессов и средств вычислительной техники.

Они могут быть использованы при подготовке технического перевооружения действующих и реконструируемых производств, а также для разработки технологических проектов новых производственных подразделений.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Общие правила проектирования роботизированных технологических процессов должны соответствовать установленным в системах технологической подготовки производства.

1.2. Роботизированные технологические процессы проектируют для изготовления изделий при меньшей численности рабочих, занятых ручным, тяжелым, монотонным и малоквалифицированным трудом, особенно во вредных условиях, в целях повышения социальной и экономической эффективности производства.

1.3. Роботизированные технологические процессы проектируют как перспективные при выполнении технологической части проектов роботизированных комплексов в виде цехов, участков или линий при техническом перевооружении, реконструкции, расширении производства или новом строительстве.

1.4. Роботизированные технологические процессы проектируют как рабочие маршрутные и операционные на уровне предприятий, изготавливающих или ремонтирующих конкретное изделие.

1.5. Степень детализации содержания документации на роботизированные технологические процессы устанавливают в отраслевых стандартах и стандартах предприятия.

1.6. Роботизированные технологические процессы должны соответствовать требованиям техники безопасности, пожаро- и взрывобезопасности, промышленной санитарии.

1.7. Правила оформления документации на роботизированные технологические процессы определяют в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации.

1.8. Пояснение терминов, используемых в настоящих рекомендациях, приведено в справочном приложении I.

2. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (РТП)

2.1. Последовательность проектирования роботизированных технологических процессов, перечень задач, решаемых на этапах, и основные документы, необходимые для решения задач, должны соответствовать приведенным в табл.2.1.

2.2. Необходимость каждого этапа, состав задач и последовательность их решения определяют в зависимости от вида и типа производства в отраслевых стандартах и стандартах предприятия.

В зависимости от специфики применяемых средств роботизации допускается включать дополнительные этапы разработки роботизируемых технологических процессов (операций).

Таблица 2.1

Этапы разработки роботизированных технологических процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы, обеспечивающие решение задач
I	II	III
1. Анализ исходных данных	<p>Ознакомление с конструкторской документацией на изделия и требованиями к эксплуатации изделий</p> <p>Анализ действующих технологических процессов и выбор объектов роботизации</p> <p>Составление перечня дополнительной информации, необходимой для разработки роботизированного технологического процесса, ее подбор</p>	<p>Задание на разработку технологического процесса</p> <p>Конструкторская документация на изделия</p> <p>Архив производственно-технической документации</p> <p>Информационно-поисковая система</p>
2. Классификация изделий	<p>Создание групп изделий, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков</p> <p>Выбор изделий-представителей для разработки или определение комплексного изделия</p>	<p>Конструкторская документация на изделия</p> <p>Классификаторы объектов производства, учитывающие методы захвата изделия промышленным роботом, способы ориентации изделий при выполнении роботизируемых операций</p> <p>Методические рекомендации МР 53-85</p> <p>Правила проектирования роботизированных технологических комплексов [1]</p> <p>Руководящие технологические документы по классификации и группированию изделий</p>

1	2	3
3. Количественная оценка групп изделий	<p>Разработка предложений по унификации изделий, повышению технологичности изделий по условиям применения промышленных роботов</p> <p>Определение типа производства. Расчет производственной программы</p> <p>Определение ориентировочной трудоемкости (станкоемкости) роботизируемых технологических процессов</p>	<p>ГОСТ 23945.0-80</p> <p>Плановые задания на производство изделий</p> <p>МР 53-85</p>
4. Разработка транспортно-технологических схем	<p>Выбор заготовок и методов их изготовления</p> <p>Предварительный выбор технологических баз и методов обработки, перемещения, контроля, технологического оборудования, промышленных роботов</p> <p>Построение и выбор рациональной транспортно-технологической схемы</p> <p>Предварительное обоснование вариантов компоновочных схем роботизированных технологических комплексов (РТК)</p>	<p>Отраслевые руководящие технические документы по классификации и технико-экономической оценке заготовок</p> <p>ГОСТ 21495-76</p> <p>Классификаторы технологических операций, оборудования</p> <p>Конструкторская документация</p> <p>МР 53-85</p> <p>Классификаторы технологического оборудования</p>

I	2	3
5. Разработка роботизированного технологического процесса	<p>Определение последовательности выполнения операций или уточнение последовательности операций по типовому или групповому технологическому процессу</p> <p>Определение состава средств технологического оснащения</p> <p>Разработка роботизированных технологических операций</p>	Техническая документация по расчету экономической эффективности
6. Обоснование технико-экономической и социальной эффективности роботизированных технологических процессов	<p>Расчет социально-экономической эффективности</p> <p>Окончательный выбор оптимального варианта роботизированного технологического процесса</p>	Техническая документация по расчету экономической эффективности
7. Разработка технических мероприятий по реализации роботизированного технологического процесса	<p>Разработка технологической части проектов роботизированных технологических комплексов и систем</p> <p>Разработка технических заданий на модернизацию или проектирование специальных средств технологического оснащения и систем управления</p> <p>Проектирование и изготовление средств технологического оснащения роботизированных технологических комплексов</p>	МР 53-85
		ГОСТ 3.1109-82
		Нормативно-техническая документация на изделия робототехники

продолжение табл. 2.1

1	2	3
3. Оформление комплекта документов на роботизированные технологические процессы	Разработка монтажного плана РТК	Отраслевые нормы технологического проектирования
	Монтаж и отладка робототехнических комплексов и других средств технологического оснащения	
	Оформление технологических документов на роботизированные технологические процессы	Государственные стандарты ЕСТД на оформление технологических документов ГОСТ 3.1109-82
	Нормоконтроль содержания документов на РП	
	Согласование и утверждение документации на РП	

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ МАРШРУТНЫХ И ОПЕРАЦИОННЫХ РП

3.1. Маршрутные роботизированные технологические процессы разрабатывают на основе многовариантных транспортно-технологических схем, предусматривающих технологические, контрольные операции и операции перемещения тарно-штучных грузов.

3.2. Обязательный этап при разработке многовариантных транспортно-технологических схем и маршрутных роботизированных технологических процессов – группирование изготавляемых изделий по конструктивно-технологическим признакам с учетом технологичности изделий по отношению к роботизируемым технологическим операциям.

3.3. Основой для разработки многовариантных транспортно-технологических схем и маршрутных роботизированных технологических процессов служит изделие-представитель группы (комплексное изделие или несколько характерных изделий группы).

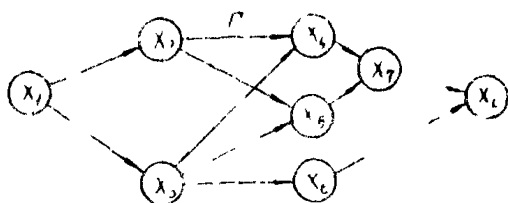
3.4. Операционные роботизированные технологические процессы следует разрабатывать с учетом возможностей существенного увеличения коэффициента сменности работы оборудования на основе полного высвобождения производственных рабочих.

При разработке роботизированной технологической операции за счет группирования изделий следует обеспечивать достаточное значение суммарного штучного времени по всей производственной программе роботизируемых мест для достижения непрерывной загрузки средств технологического оснащения.

3.5. Роботизированные технологические операции, как системы многостаночного обслуживания промышленным роботом, следует разрабатывать на основе многовариантных схем выполнения технологических и вспомогательных переходов.

4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РП

Многовариантную транспортно-технологическую схему строят в виде технологического маршрутного графа $\Gamma(X, Y)$ (черт.4.1).



Черт. 1.1

X – множество вершин графа, в качестве которых рассматривают варианты выполнения технологических операций, в том числе заготовительных, транспортных, контрольных, учетных и т.п.;

Γ – множество дуг графа, определяющих варианты логических связей при выполнении технологических операций (X) изготовления изделия.

Основные требования к построению многовариантной транспортно-технологической схемы определяют следующие правила.

Любой полный путь на графе от начальной вершины к конечной предопределяет маршрутный технологический процесс изготовления изделия–представителя группы (комплексного изделия), отвечающий требованиям конструкторской документации.

При построении множества вершин графа необходимо предусматривать различные варианты выполнения технологических, транспортных, контрольных, учетных и т.п. операций, отличающихся концентрацией (дифференциацией) технологических и вспомогательных переходов.

Многовариантность вершин графа реализуют использованием на операциях различных комплектов средств технологического оснащения:

- основного оборудования;
- различных средств механизации и автоматизации вспомогательных переходов;
- промышленных роботов;
- технологической оснастки и т.д.

При этом учитывают возможности различной компоновки средств технологического оснащения, форм организации производства и труда на операциях как с исполнением промышленных роботов, так и без них.

Построение многовариантной транспортно-технологической схемы должно предусматривать возможность использования различных заготовок для изготовления изделий и изменения конструкции их при отработке на технологичность по условиям роботизации технологического процесса.

Производственная технологичность конструкций изделий в условиях создания роботизированных технологических процессов обеспечивается с учетом следующих особенностей.

В целях достижения загрузки роботизированных технологических комплексов в отдельных случаях возникает необходимость изменения конструкций изделий по условиям захвата изделия промышленным роботом, его зажима, транспортирования и базирования. Для этого с использованием специальных классификаторов (приложение 3, / 2 /) детали группируются. Каждая из групп анализируется с точки зрения применения типового метода захвата и зажима деталей. Детали, которые не соответствуют типовой схеме, должны либо исключаться из группы, либо проходить отработку на технологичность для обеспечения конструкторско-технологической однородности группы. В противном случае может возникнуть необходимость изменения конструкции средств технологического оснащения роботизированных технологических комплексов.

Количественный анализ технологичности измененных изделий по показателю трудоемкости изготовления рекомендуется осуществлять с использованием следующей формулы:

$$\Delta T_n = \Delta T_{n1} + \Delta T_{n2} = \alpha_1 C_1 + \frac{C_1 - C_2}{\alpha_2} \quad (4.1)$$

где ΔT_{n1} — величина снижения трудоемкости изготовления изделий в связи с применением промышленных роботов;
 ΔT_{n2} — величина изменения данной трудоемкости в результате отработки изделия на технологичность;

- α_1 - коэффициент, характеризующий интенсивность изменения трудоемкости изготовления изделий в зависимости от уровня роботизации технологического процесса;
- α_2 - коэффициент, характеризующий изменение уровня роботизации технологического процесса;
- C_1 - численная величина, зависящая от конструктивно-технологических характеристик обрабатываемых изделий;
- C_2 - численная величина, зависящая от конструктивно-технологических характеристик отработанной на технологичность конструкции изделия.

Для количественного анализа транспортно-технологической схемы вершины графа нормируют по показателям:

- штучного времени;
- приведенных затрат;
- надежности.

Допускается нормирование и по другим показателям (уровень механизации и автоматизации / I / и т.п.).

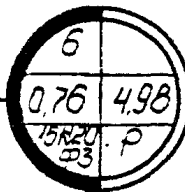
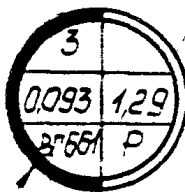
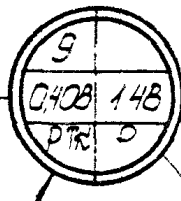
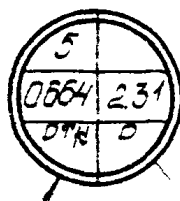
4.1. Метод однокритериальной оптимизации

В целях выбора рационального варианта транспортно-технологической схемы все возможные полные пути на графе выстраивают в очередь по возрастанию одного из критериев оптимизации (времени или затрат и т.п.). Другие показатели, используемые в расчетах, применяют в качестве ограничений.

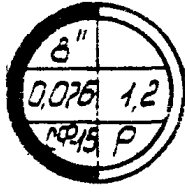
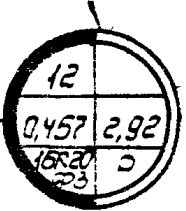
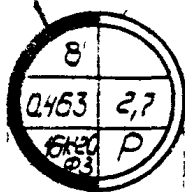
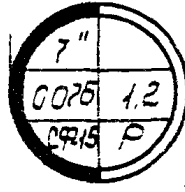
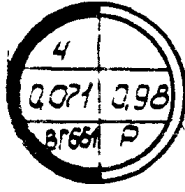
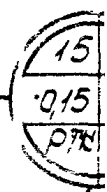
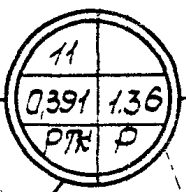
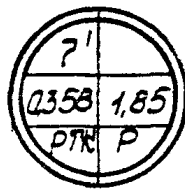
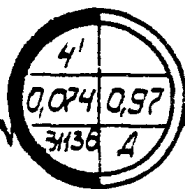
Для многовариантных транспортно-технологических схем очередь вариантов строят на ЭВМ с использованием специальных программ [3].

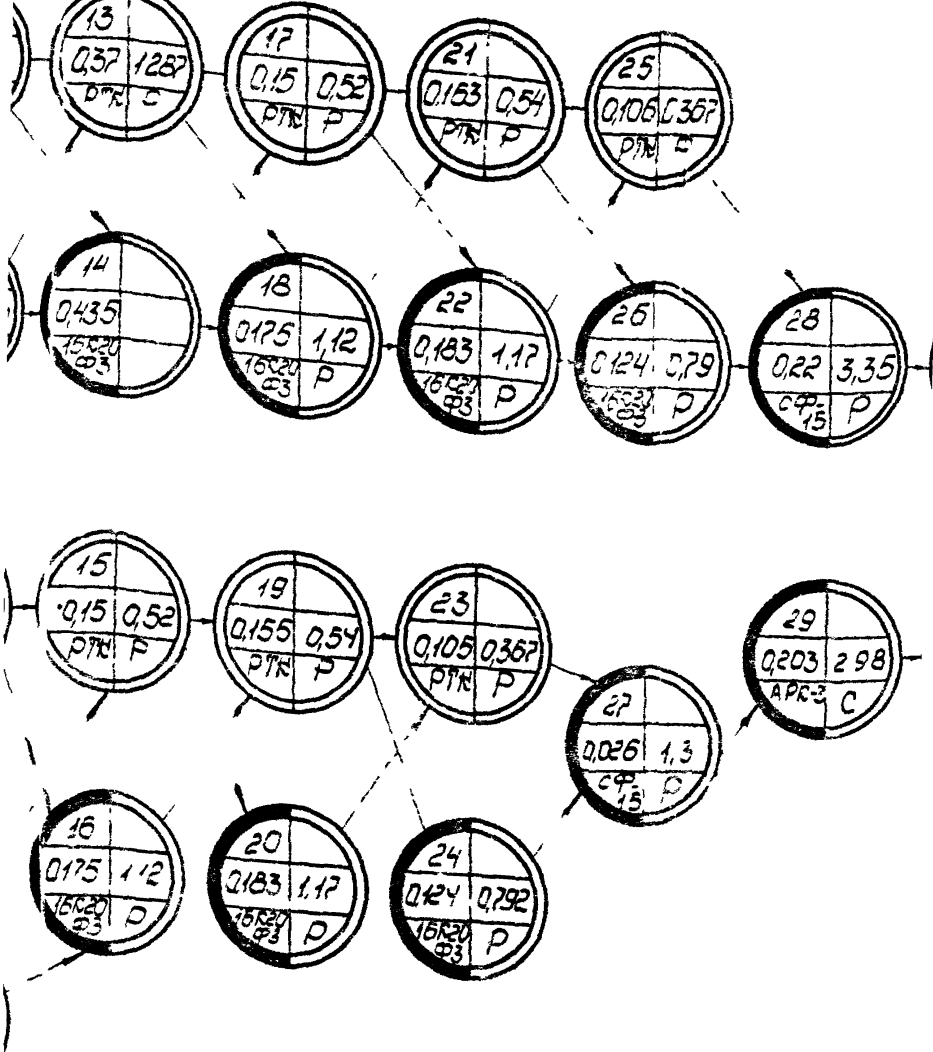
Полученная очередь вариантов выполнения транспортно-технологических схем проходит экспертную доработку по факторам, не учтенным в математической модели:

- материально-технического снабжения;
- пожаро- и взрывобезопасности и т.д.



2	0,008
CM	0,01
100	





Контрольная операция

1	2	
4	3	

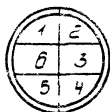
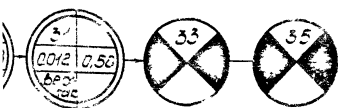
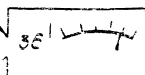
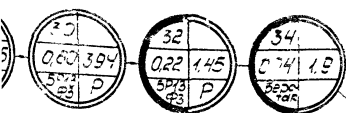
Транспортная операция

- 1 - номер вершины.
- 2 - штычное время м/с
- 3 - приведенные затраты
- 4 - транспортное сред

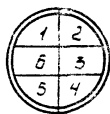


Фиктивная вершина

Пример многовариантного транспортно-технологиче



Операция выполняется с участием человека



Операция выполняется без участия человека

1 - номер вершины графа

2 - номер обрабатываемых поверхностей переходов

3 - норма штучного времени, мин

4 - дополнительная характеристика выполняемой операции

5 - модель оборудования

Б - приведенные затраты (руб/операцию): Р - резание; С - сварка; Д - давление.

Для этого группа экспертов оценивает варианты транспортно-технологических схем в последовательности от наиболее предпочтительных маршрутов, исключая варианты, не удовлетворяющие реальным условиям роботизации технологических процессов. Таким образом определяют вариант маршрутного роботизированного технологического процесса, максимально приближенный к оптимальному и отвечающий всем требованиям создания рабочего технологического процесса.

П р и м е ч а н и е. В отдельных случаях, когда применение промышленных роботов не обеспечивает социально-экономической эффективности технологических процессов, выполненный анализ может быть основанием для использования не роботизированного технологического процесса.

Пример построения фрагмента многовариантной транспортно-технологической схемы приведен на черт.1.2.

Результаты расчетов, выполненных для этой схемы, позволяют построить очередь полных путей, которая приведена в табл.4.1. По результатам анализа схемы определяют проектный вариант роботизированного технологического процесса.

4.2. Метод многокритериальной оптимизации

Процесс решения задачи по выбору оптимального варианта транспортно-технологической схемы делится на два этапа: структурной и параметрической оптимизации.

Цель первого этапа – сокращение структуры многовариантного сетевого графа до приемлемой размерности за счет удаления из него неприемлемых по критериям трудоемкости и приведенных затрат технологических маршрутов. Это достигается различными методами:

- инверсией сетевого графа в граф-дерево статистической игры путем эквивалентной замены вершин сетевого графа на дуги, определения поля чистых стратегий, зон риска, выделения зоны минимального риска потерь по заданным критериям оптимизации, исключением дуг, которые формируют зоны риска, и обращением оставшегося граф-дерева в сетевой граф упрощенной структуры минимальной размерности;

– двойной декомпозиции графа путем последовательного проведения вертикальной и горизонтальной декомпозиции и другими методами.

Параметрическая оптимизация имеет целью переход от множества приемлемых вариантов структур роботизированных технологических процессов к ранжированному по многим критериям целевой функции подмножеству наиболее рациональных с точки зрения многокритериальной оптимизации вариантов технологических процессов.

Функциональная структура пакета прикладных программ, реализующего названную вычислительную процедуру, представлена на черт.

Результатом работы данного программного комплекса являются: печать варианта (вариантов) оптимального роботизированного технологического процесса на маршрутной карте по ГОСТ 3.1118-82, печать ведомости оборудования и таблиц технико-экономических показателей выбранного варианта РП.

4.3. Математическое моделирование и оптимизация структуры роботизированных операций

Для обоснования вариантов роботизированных технологических процессов и нормирования вершин графа математической модели (черт.4.2) рекомендуется выполнять следующие оптимизационные расчеты.

Укрупненные компоновочные расчеты /3/, которые дополняют обоснованием оптимальной нормы обслуживания промышленным роботом технологического оборудования ($n_{\text{опт.}}$) по критерию минимума приведенных затрат:

$$n_{\text{опт.}} = \sqrt{\frac{3_{\text{пр.р.}} \cdot T_{\text{ст}}}{3_{\text{пр.ст.}} \cdot T_{\text{пр.}}}} \quad (4.2)$$

где $3_{\text{пр.р.}}$ – часовые приведенные затраты на работу промышленного робота;

$3_{\text{пр.ст.}}$ – часовые приведенные затраты на станок, работающий в составе РТК, без учета затрат на промышленный робот;

Начало

FRM
Форматизация
файла оперативной
информации о ходе
работы полета

CONST

SECOND
Создание и корректи-
ровка файлов впа-
сов и данных о впа-
сах, чье состояние
по порядку вылета

CONST

VER
SPRAY
CONST

CONST

Программа для
печати спис-
ка PRINT
вспышек файлов



APRIORI
Формирование фай-
ла матрицы
внешности

CONST

MATS

VER
SPRAY
CONST

PRINT

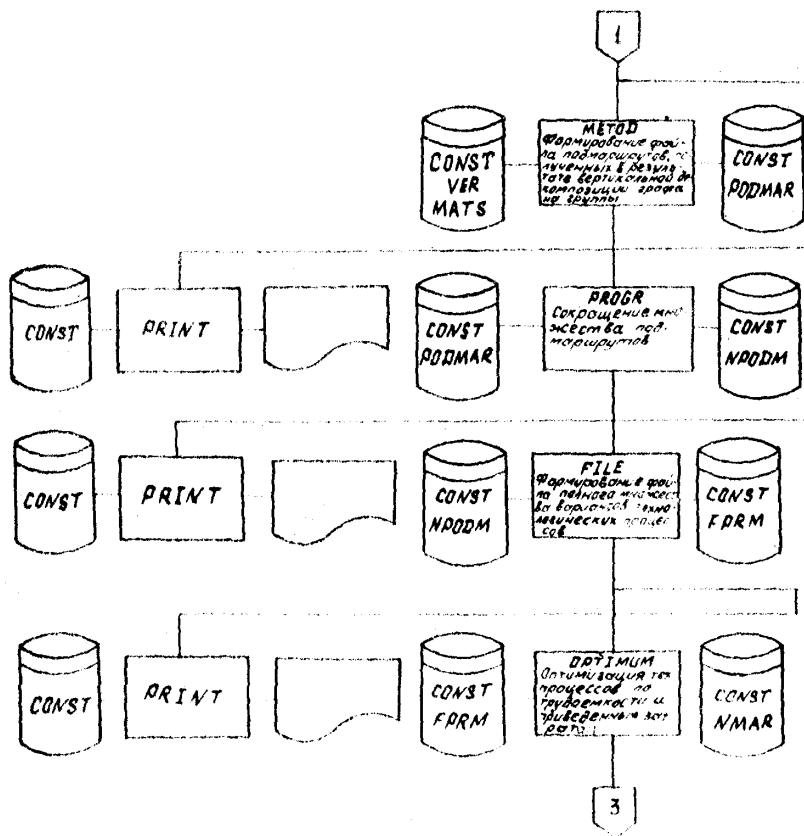


GRUPPA
Вертикальная
декомпозиция в раз-
резах

CONST

CONST

2



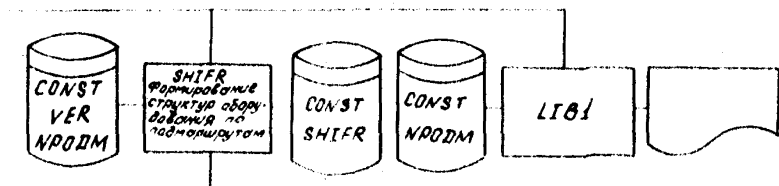
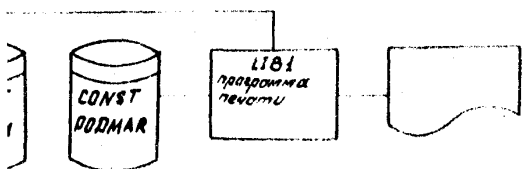
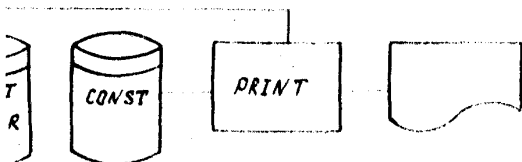


Таблица 4.1

Оптимизационная очередь вариантов роботизированных
технологических процессов

Ранг предпочтительности	Очередь полных путей графа многовариантной транспортно-технологической схемы (перечень вершин)	Приведенные затраты, руб.	Суммарное штучное время, мин.
1	I - 2 - 4 - 7 - II - 15 - 19 - 23 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,693	12,053
2	I - 2 - 4 - 7 - II - 15 - 19 - 24 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,711	12,478
3	I - 2 - 4 - 7 - II - 16 - 19 - 23 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,718	12,653
4	I - 2 - 4 - 7 - II - 15 - 20 - 23 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,721	12,683
5	I - 2 - 4 - 7 - II - 16 - 19 - 24 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,736	13,078
6	I - 2 - 4 - 7 - II - 15 - 20 - 24 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,739	13,108
7	I - 2 - 4 - 7 - II - 16 - 20 - 23 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,746	13,283
8	I - 2 - 4 - 7 - II - 15 - 19 - 23 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,759	13,613
9	I - 2 - 4 - 7 - II - 16 - 20 - 24 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,764	13,708
10	I - 2 - 4 - 7 - II - 15 - 19 - 24 - 27 - 29 - 31 - 33 - 35 - 36	1,777	14,008

- $T_{ст.}$ - время непосредственного функционирования станка в течение смены, включая и время обслуживания его промышленным роботом,
- $T_{пр.}$ - время простоя станка в течение смены из-за мероприятий по техническому обслуживанию.

Проверочные расчеты результатов компоновки осуществляются по условиям технической реализации оптимальной компоновочной схемы и надежности РТК. Первая проверка зависит от габаритов рабочей зоны обслуживания промышленным роботом и габаритных размеров оборудования. Проверка соответствия $\eta_{ст.}$ опт. параметру надежности системы осуществляется по формуле:

$$\eta_{ст.} = \left(\frac{1 - \eta_{РТК}}{\eta_{РТК}} \right) \frac{\eta_{ст.}}{1 - \eta_{ст.}} \quad (4.3)$$

$$\eta = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_c} \quad (4.4)$$

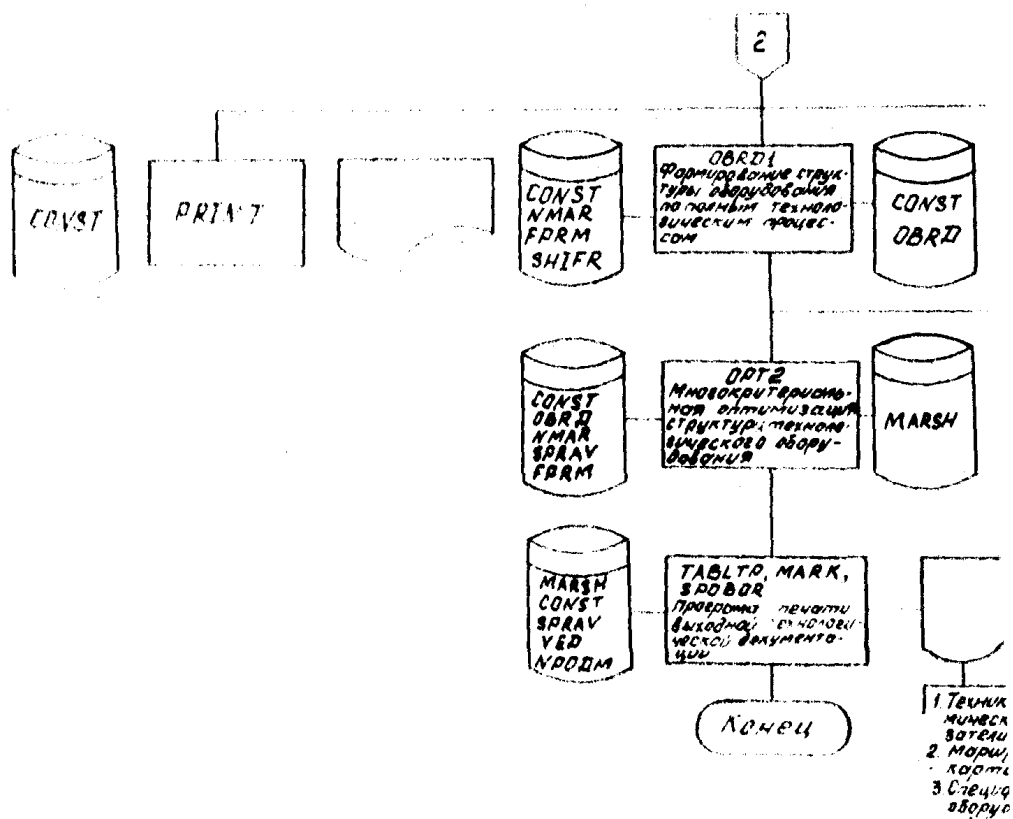
где $\eta_{РТК}$ - коэффициент технического использования РТК или гибкого производственного модуля на базе РТК (ожидаемая величина);

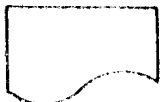
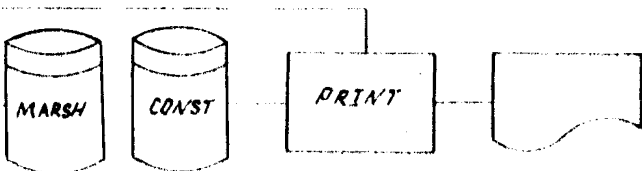
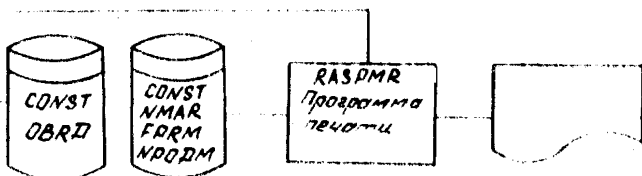
$\eta_{ст.}$ - коэффициент технического использования станка;

θ_p - время непосредственной работы механизма (станка, РТК, ПИМ) за отрезок времени θ ;

$\sum \theta_c$ - собственные простои механизма (станка, РТК, ПИМ) за тот же отрезок времени.

Укрупненные расчеты структуры РТК для выбора оптимального роботизированного технологического процесса рекомендуется на последующих стадиях разработки конструкторской документации РТК дополнять элементарными расчетами, которые могут также использоваться для проектирования роботизированных технологических операций при разработке операционных, технико-нормировочных карт, карт эскизов и другой рабочей документации на РП.





- 1 Техника экономическая по-
звела
- 2 маршрутная
карта
- 3 спецификация
оборудования

Для этого целесообразно строить модели функционирования РТК в виде многовариантного циклового графа выполнения промышленным роботом вспомогательных переходов технологической операции, либо технологических и вспомогательных переходов для технологических промышленных роботов, применяемых для сварки, окраски. Пример наиболее распространенного варианта построения граф-цикла функционирования РТК представлен на черт.1.4. Оптимальный вариант выполнения вспомогательных переходов промышленным роботом характеризуется минимальным временем выполнения полного комплекта переходов в цикле.

4.4. Техничко-экономическое обоснование РТП

Техничко-экономическое обоснование роботизированных технологических процессов осуществляется на всех стадиях разработки и предполагает:

расчет потенциального экономического эффекта на стадиях НИИ, ОКР и технологической подготовки производства к внедрению нового технологического процесса;

разработку организационных форм осуществления роботизированного технологического процесса с целью обеспечения возможности реализации потенциального экономического эффекта;

расчет фактического годового экономического эффекта по результатам внедрения при условии оптимального перераспределения высвобожденных ресурсов.

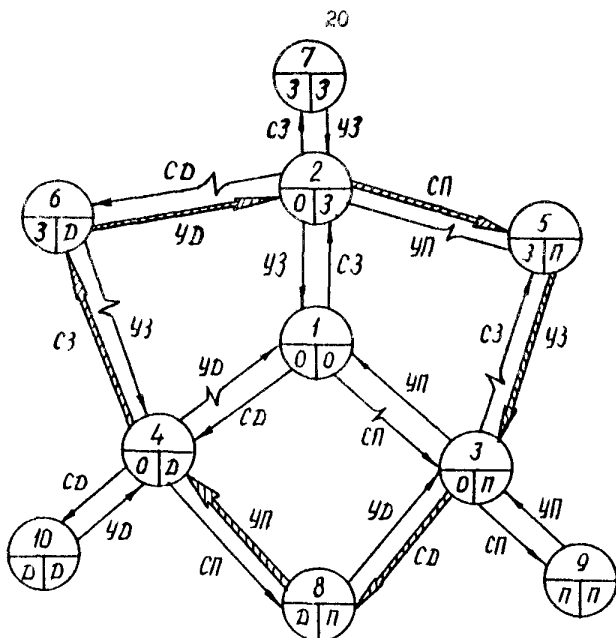
Методологической основой расчета является схема кругооборота капитальных вложений при внедрении роботизированных технологических процессов (черт.1.5).

Расчет экономического эффекта на уровне народного хозяйства производится по формуле:

$$\mathcal{E}_\Sigma = \mathcal{E}_{\Sigma H} + \mathcal{E}_\Pi + \mathcal{E}_{\Sigma \text{св}} \quad (1.5)$$

где $\mathcal{E}_{\Sigma H}$ — экономический эффект, получаемый в результате снижения текущих затрат;

\mathcal{E}_Π — экономический эффект перераспределения производственных ресурсов вследствие внедрения роботизированного технологического процесса;



ОБОЗНАЧЕНИЯ:

А - порядковый номер вершины графа;
Б, В - загрузка рук робота объектами манипулирования

→ переход, выполняемый промышленным роботом;

→ оптимальный вариант;

→ ии вариант;

Д - деталь;

П - полуфабрикат;

З - заготовка;

О - схват свободен;

У - установить;

С - снять.

Черт. 4.4. Граф цикл функционирования РТК (ГПМ)

$\mathcal{E}_{\text{соц}}$ — эффект в социальной сфере (рассчитывается в соответствии с типовыми методиками /4;5/).

$$\mathcal{E}_{\text{эп}} = \Delta C \cdot E_m K_2, \quad (1.6)$$

где ΔC — разность текущих издержек производства до и после проведения мероприятия;

K_2 — капитальные вложения, связанные с внедрением роботизированного технологического процесса.

$$\mathcal{E}_\pi = K_m C_{\text{зп}} + \sum_i E_i K_i, \quad (1.7)$$

где K_m — коэффициент, характеризующий отношение стоимости прибавочного продукта к индивидуальной заработной плате ($K_m = 0,4 - 0,43$ /5/);

$C_{\text{зп}}$ — фонд заработной платы перераспределяемых рабочих;

E_i — нормативный коэффициент эффективности использования i -го лимитированного средства производства (в конкретных случаях, когда известно место перераспределения, эта величина может приниматься на уровне общей рентабельности);

K_i — стоимость перераспределяемых ресурсов.

Упорасчетный экономический эффект рассчитывают в соответствии с формулой (4.5), где отдельные элементы можно представлять в виде:

$$\mathcal{E}_{\text{эп}} = \Delta C - \alpha_K K_2 - \alpha_\varphi (K_2 - K_1) - \alpha_\chi (\chi_2 - \chi_1), \quad (4.8)$$

где α_K — ставка за банковский кредит, т.е. сумма оплаты процентов на капитальные средства (0,05 - 10%);

α_φ — процент платы за фонды;

α_χ — плата за трудовые ресурсы;

χ_1, χ_2 — численность работающих до и после внедрения роботизированного технологического процесса с учетом перераспределяемой части.

$$\mathcal{E}_\pi = \sum_i \rho_i K_i + A + \alpha_{\text{пр}} B \text{ и } \chi, \quad (4.9)$$

- где R_p – рентабельность (расчетная по отношению к K_p) – %;
 K_p – часть K средств производства, перераспределенная
 внутри хозяйственного предприятия;
 L – выручка от реализации выбывших предметных
 средств на сторону (ликвидации);
 $\Delta \varphi$ – количество работающих, высвобожденных и перерас-
 пределенных внутри предприятия;
 B – годовая выработка реализованной продукции на од-
 ного работающего руб./чел.;
 $\alpha_{пр}$ – нормы прибыли на 1 руб. реализованной продук-
 ции.

Изложенные методические основы технико-экономического обоснования роботизированных технологических процессов в ус-
 ловиях математического моделирования их внедрения реализуют-
 ся с использованием сетей Петри. Модель функционирования си-
 стемы внедрения роботизированного технологического процесса
 для данного случая представлена на черт.1.6. В виде сети
 Петри модель функционирует следующим образом: срабатывание
 системы заключается в перемещении метки \odot с одного места
 на другое $\odot \rightarrow \odot$, $\odot \rightarrow \odot$;

при наличии финансовых средств на входе в модель R_1
 возникает возможность запуска сети;

срабатывает переход t_1 , заключающийся в перераспре-
 делении финансовых ресурсов между надсистемой и подсистемой,
 в результате чего в надсистему R_1 и подсистему R_2 поступают
 материальные ресурсы K_1 , приобретение в соответствии с
 проектом;

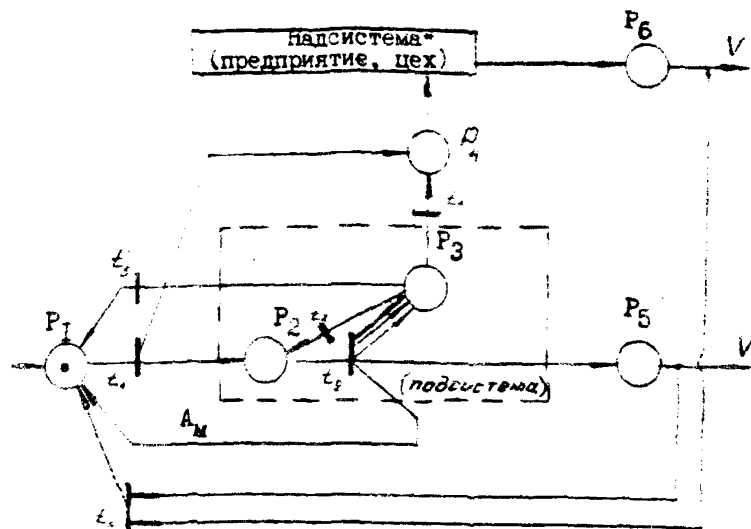
наличие материальных ресурсов R_2 создает условия для их
 внедрения. Результатом является высвобождение или ранее
 ресурсов (оборудование, площади, рабочие) R_3 и изменение амор-
 тизационных отчислений;

высвобожденные ресурсы R_3 (оборудование, площади, рабо-
 чие) создают условия для реализации трех переходов t_3 , t_4 , t_5 .

Данный процесс носит вероятностный характер, и срабаты-
 вание переходов возможно в любом сочетании. В зависимости от

этого будет и различный результат функционирования систем, который проявляется в том, что результирующая величина Θ_7 станет переменной.

Таким образом, на выходе модели мы имеем продукцию P_5 , P_6 , которая после ее реализации в виде финансовых средств обеспечивает новое пополнение источников финансирования.



Черт.4.6. Схема процесса перераспределения производственных ресурсов при техническом перевооружении на основе внедрения роботизированных технологических процессов.

Условные обозначения:

- P_1 - денежные средства (источник финансирования);
- t_1 - событие перераспределения денежных средств между надсистемой и подсистемой;
- P_2 - материальные ресурсы R_2 , попадающие в подсистему;
- t_2 - событие внедрения R_2 ресурсов в подсистему;
- P_3 - высвобожденные ресурсы ΔR , подлежащие перераспределению;
- t_3 - событие перераспределения части ΔR внутри подсистемы;
- t_4 - событие перераспределения части ΔR в надсистему;
- t_5 - событие реализации части ΔR в виде вторичных ресурсов;
- P_4 - материальные ресурсы, попадающие в надсистему, R_4 ;
- $P_5(V)$ - продукт функционирования подсистемы;
- $P_6(V)$ - продукт функционирования надсистемы;
- t_6 - событие реализации продукта и получения денежных средств в виде прибыли;
- A_M - амортизационные отчисления;
- \sim - надсистема функционирует аналогично подсистеме относительно систем более высокого уровня.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Справочное

ПОЯСНЕНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ

Термин	Пояснение
Технологическая часть проекта роботизированного комплекса (системы)	Комплект проектной технологической документации, содержащей исходные данные, расчеты и обоснования по применению комплекта средств технологического оснащения, расчеты и обоснования по площадям, составу работающих и условиям их труда, специальным частям проекта, производственным запасам, затратам энергии всех видов и другим показателям проекта
Роботизированный технологический процесс	Технологический процесс, оснащенный промышленными роботами

2. Справочное

ПРАВИЛА ВЫБОРА ОБЪЕКТОВ РОБОТИЗАЦИИ

Выбор объектов роботизации включает:

предварительный отбор по результатам комплексной оценки технических, технологических, организационных и социальных факторов;

технико-экономическое обоснование предварительно отобранных объектов.

При наличии опасных для жизни и вредных для здоровья условий труда решение о роботизации принимает на основании предварительного отбора независимо от результата технико-экономического обоснования.

Выбранные объекты роботизации следует включить в планы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по роботизации технологических процессов.

Правила предварительного отбора объектов роботизации

Цель предварительного отбора – определение технической, технологической, организационной и социальной целесообразности роботизации.

Объектами комплексной оценки служат производственные подразделения: цех, участок, группа рабочих мест, рабочее место.

Предварительный отбор объектов роботизации на предприятиях осуществляется специалистами-экспертами. Состав группы приведен в таблице П2.1. Пример выбора объектов роботизации дан в табл. П.2.2.

В результате проведения комплексной оценки определяют очередность роботизации в соответствии с рангом предпочтительности, присвоенным каждому объекту.

Предварительный отбор следует завершить составлением перечня предварительно отобранных объектов роботизации.

Таблица П.2.1

Состав группы специалистов-экспертов

Специалисты	Количество специалистов в группе, чел.
Ведущие технологи служб новой техники обследуемых производство	I – 3
Ведущие конструкторы служб новой техники, механизации и автоматизации, конструкторы изготавливаемых изделий	I – 3
Специалисты по экономике и организации производства	I – 2
Специалисты по охране труда, технике безопасности, научной организации труда	I
Примечание. Ведущего технолога назначают руководителем группы специалистов-экспертов.	

Правила предварительного технико-экономического обоснования

Цель технико-экономического обоснования – определение

экономической целесообразности роботизации предварительно отработанных объектов.

Технико-экономическое обоснование включает:
сбор и обработку исходных данных;
расчет показателей экономической эффективности.

Показателем экономической эффективности роботизации служит ожидаемый годовой экономический эффект, рассчитанный в соответствии с методиками и инструкциями, утвержденными в установленном порядке.

Положительная величина ожидаемого годового экономического эффекта свидетельствует об экономической целесообразности роботизации, что является положительным результатом технико-экономического обоснования предварительно отобранных объектов.

Технико-экономическое обоснование следует завершать исключением из перечня объектов, не имеющих положительного результата обоснования, кроме случаев, указанных ранее.

Объекты, имеющие положительный результат технико-экономического обоснования, подлежат роботизации в соответствии с рангом предпочтительности.

Состав факторов комплексной оценки производства

1. Необходимость улучшения условий труда рабочих, снижения опасности травматизма и профзаболеваний, а также затрат, обусловленных действием неблагоприятных социальных факторов.

2. Необходимость решения проблем текучести и нехватки кадров, повышения престижности профессий.

3. Необходимость повышения качества продукции (работ) путем исключения влияния на производство субъективных факторов и точного следования установленным технологическим требованиям.

4. Необходимость повышения производительности оборудования.

5. Возможность внедрения средств роботизации с минимальными объемами модернизации установленного оборудования и дополнительных затрат.

6. Возможность внедрения средств роботизации с минимальными объемами перепланировок производственных помещений и привлечения дополнительных площадей.

7. Возможность приобретения роботизированных комплексов или промышленных роботов, которые могут быть использованы для автоматизации данной технологической операции (процесса).

8. Наличие кадров, подготовленных для эксплуатации и технического обслуживания роботизированных производств.

9. Степень поддержки персоналом мероприятий по роботизации производства.

П р и м е ч а н и я:

1. Факторы по пп.5 и 6 оценивают с учетом простоты формализации технологических операций, стабильности технологических процессов, повторяемости изделий в производстве, применения групповых методов организации производства и т.д.

2. Состав факторов может быть скорректирован, исходя из условий конкретного производства.

Пример проведения предварительного выбора объектов роботизации

Выбор объектов роботизации рассмотрен применительно к участку штамповочно-заготовительного цеха машиностроительного предприятия, имеющему пять рабочих мест.

Для организации работ по выбору объектов роботизации создана группа из четырех специалистов-экспертов.

Объектами комплексной оценки являются указанные рабочие места.

На этапе предварительного отбора специалист-эксперт определяет значимость рекомендуемых факторов комплексной оценки в соответствии с табл.П.2.2 и корректирует рекомендуемый

состав факторов, исходя из полученных оценок значимости факторов и условий конкретного производства.

Далее каждый специалист-эксперт дает оценку меры влияния каждого фактора на принятие решения в пользу роботизации. Результаты оценки рабочих мест каждым специалистом заполняют по форме, приведенной ниже. Каждый специалист оценивает рабочие места независимо от мнения других специалистов, входящих в группу.

Таблица П.2.2

Рекомендуемый состав и пример определения значимости факторов комплексной оценки производства

Наименование фактора комплексной оценки производства	Оценка значимости фактора, баллы $\sum_{i=1}^4$ баллы специалисты				Средняя оценка значимости фактора \bar{f}_i	Относительная оценка значимости фактора λ_i
	1-й	2-й	3-й	4-й		
Необходимость улучшения условий труда рабочих, снижения опасности травматизма и профзаболеваний, а также затрат, обусловленных действием неблагоприятных социальных факторов	8	9	9	10	9	0,122
Необходимость решения проблем текучести и нехватки кадров, повышения престижности профессий	10	10	10	10	10	0,135
Необходимость повышения качества продукции (работ) за счет исключения влияния на производство субъективных факторов и точного следования установленным технологическим требованиям	10	10	10	10	10	0,135
Необходимость повышения производительности обслуживания	7	9	8	8	8	0,108

Продолжение табл. II 2.2

Наименование фактора комплексной оценки производства	Оценки значимости фактора, баллы				Средняя оценка значимости фактора	Относительная оценка значимости фактора
	1-й	2-й	3-й	4-й		
Возможность внедрения средств роботизации с минимальными объемами модернизации установленного оборудования и дополнительных затрат	10	9	8	9	9	0,122
Возможность внедрения средств роботизации с минимальными объемами перепланировок производственных помещений и привлечения дополнительных производственных площадей	6	5	7	9	7	0,094
Возможность приобретения роботизированных комплексов или промышленных роботов, которые могут быть использованы для автоматизации данной технологической операции (процесса)	6	8	8	7	7	0,094
Наличие кадров, подготовленных для проведения эксплуатации и технического обслуживания роботизированных производств	8	9	8	7	8	0,106
Степень поддержки персоналом мероприятий по роботизации производства	6	5	7	5	6	0,081

Итого:

74

П р и м е ч а н и я:

1. Оценку значимости фактора в пользу включения его в состав факторов проводят по 10-балльной шкале.

2. Среднюю оценку значимости фактора f_i определяют как среднее арифметическое оценок всех специалистов-экспертов по формуле

$$J_{li} = \frac{J_i}{L}$$

где J_{li} - оценка i -го фактора L -м специалистом-экспертом по 10 бальной шкале, балл;

L - численность группы специалистов-экспертов, чел.;

i - порядковый номер фактора комплексной оценки производства, $i = 1, \dots, L$

3. Относительную оценку значимости фактора 2_i определяют как отношение средней оценки значимости каждого фактора к сумме средних оценок значимости всех факторов по формуле

$$2_i = \frac{J_i}{\sum J_i}$$

где I - число факторов комплексной оценки.

Таблица П.2.3

Пример заполнения формы индивидуальной комплексной оценки объектов производства

Специалист _____ Подразделение _____ Дата _____

Наименование фактора комплексной оценки производства	Относительная оценка значимости фактора	Оценка меры влияния фактора на принятие решения в пользу роботизации J_{li} , балл				
		Рабочие места				
		1-е	2-е	3-е	4-е	5-е
Необходимость улучшения условий труда рабочих, снижения опасности травматизма и профзаболеваний, а также затрат, обусловленных действием неблагоприятных социальных факторов	0,122	10	5	6	2	10
Необходимость решения проблем текучести и нехватки кадров, повышения престижности профессий	0,135	6	7	6	7	7

Продолжение табл. П.2.3

Наименование фактора комплексной оценки производства	Относительная оценка значимости фактора	Оценка меры влияния фактора на принятие решения в пользу роботизации / 10 баллов				
		Рабочие места				
		1-е	2-е	3-е	4-е	5-е
Необходимость повышения качества продукции (работ) за счет исключения влияния на производство субъективных факторов и точного следования установленным технологическим требованиями	0,135	5	7	8	9	9
Необходимость повышения производительности оборудования	0,108	8	7	8	8	8
Возможность внедрения средств роботизации с минимальными объемами модернизации установленного оборудования и дополнительных затрат	0,122	10	9	10	9	8
Возможность внедрения средств роботизации с минимальными объемами перепланировок производственных помещений и привлечения дополнительных производственных площадей	0,094	7	4	3	3	4
Возможность приобретения роботизированных комплексов или ПР, которые могут быть использованы для автоматизации данной технологической операции (процесса)	0,094	8	6	7	6	5
Наличие кадров, подготовленных для проведения эксплуатации и технического обслуживания роботизированных производств	0,108	8	4	5	3	8
Степень поддержки персоналом мероприятий по роботизации производства	0,091	10	8	7	9	8
Комплексная оценка объекта		7,64	6,57	6,70	6,81	7,12

Примечания:

1. Оценку меры влияния фактора на принятие решения в пользу роботизации производит по 10-балльной шкале.

2. Комплексную оценку объекта R_{cj} специалист-эксперт определяет как сумму произведений балльных оценок меры влияния каждого фактора на относительную оценку его значимости по формуле

$$R_{cj} = \sum_{i=1}^l (f_{cij} \cdot \lambda_i),$$

где j - порядковый номер оцениваемого объекта, $j = 1, \dots, J$
 f_{cij} - оценка меры влияния i -го фактора i -м специалистом для j -го объекта;
 λ_i - относительная оценка значимости фактора.

Предварительный отбор завершают присвоением рангов предпочтительности рабочим местам в соответствии с табл. П.2.4 составлением перечня предварительно отобранных объектов ротации в соответствии с табл. П.2.5.

Таблица П.2.4

Присвоение рангов предпочтительности объектам

Специалист	Комплексная оценка объекта R_{cj} , балл				
	Рабочие места				
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е
1-й	7,64	6,37	6,75	6,81	7,52
2-й	7,32	7,28	6,92	7,12	7,28
3-й	6,92	7,75	7,18	6,76	6,94
4-й	7,52	7,82	6,91	7,14	7,08
Итоговая оценка объекта	7,38	7,31	6,94	6,46	7,21
Ранг предпочтительности объекта	1	2	4	5	3

П р и м е ч а н и я :

1. Итоговую оценку объекта определяют как среднее арифметическое его оценок специалистами по формуле

2. Ранги объектов различают числом натурального ряда от I до m , где m — число оцениваемых объектов. Меньший ранг присваивают объекту с большей итоговой оценкой

Таблица П.2.5

Перечень преимущественно отобранных объектов роботизации

Рабочее место (объект)	Итоговая оценка объекта ω_i , баллы	Ранг предпочтительности объекта
I-е	7,38	I
2-е	7,31	2
5-е	7,21	3

Литература

1. ГОСТ 23004-78. Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения.
2. РД 50-357-82. Методические указания. Правила выбора объектов роботизации. — М.: Изд-во стандартов, 1983.
3. Методические рекомендации МР 53-85. Правила проектирования роботизированных технологических комплексов. — М.: ВНИИМАш, 1985.
4. Методические рекомендации МР 040-60-83. Определение экономической эффективности разработки и внедрения автоматизированных технологических комплексов. — М.: НИИМаш, 1983.
5. Козловский В.А. Эффективность переналаживаемых роботизированных производств. — Л.: Машиностроение, 1985.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТАНЫ И ВНЕСЕНЫ Всесоюзным научно-исследовательским институтом по нормализации в машиностроении

ИСПОЛНИТЕЛИ: А.Г.Гринфельдт, С.Г.Селиванов, С.Н.Гудков,
Е.И.Думчев, В.Ю.Пудяков, В.И.Мазикова,
В.М.Макаров, В.П.Афанасьев, В.В.Крупнов,
Т.А.Козлова















2. УТВЕРЖДЕНЫ И ВЫДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Приказом ВНИИМАШ № 187 от 28 июня 1988 г.

3. ВЗАМЕН ГОСТ 14.323-84, ГОСТ 14.324-84







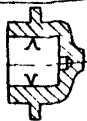
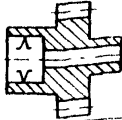

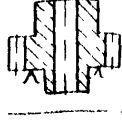
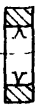
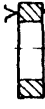

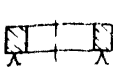

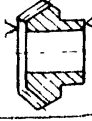
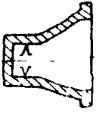
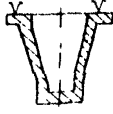
4. ССЫЛОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение документа, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта перечисления, приложения
МР 53-85	2.1
ГОСТ 23945.0-80	2.1
ГОСТ 21495-76	2.1
ГОСТ 3.1109-82	2.1
ГОСТ 3.118-82	4.3

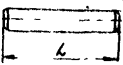
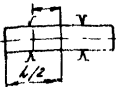
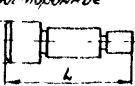
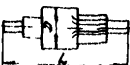

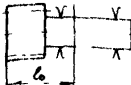
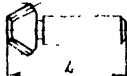
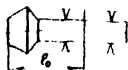
**Классификация деталей общемашиностроительного
принципу их захвата промышленным
класс "40" - тела вращения**

Метод захвата изделия про- мышленным роботом	Захват детали за наружную поверхность в одном сече- нии	Захват за наруж- ную поверхность в двух сечениях (по одинаково- му диаметру)	Захват за наруж- ную поверхность в двух сечениях (по разным диаметрам)	Захват внутр. поверх- (в р.)
Резь- бы, дета- ли (харок- теристика группы по РТМ)				
Втулки цилиндри- ческие гладкие, вс 1030, 1040				
40 3000				
Фланцы, диски, крыш- ки (без сквозного и со сквозным отверс- тием)				
40 4000				
Втулки ступенчатые со сквозным центр- вым отверстием, в т.ч. зубчатые колеса целые, зубчатые, чер- вячные				
40 5000 - 40 6000				
Колеса цилиндрические с $L < \frac{D}{2}$				
40 3000				
Зубчатые колеса конические				
40 7000				
Детали с ради- альным, коническим и другим, по 100				

Машиностроительного применения по
толкаемыми роботами.

Захват за внутреннюю поверхность (в разжим)	Захват за внутреннюю поверхность (в разжим)	Захват за два торца	Захват по одной поверх- ности (верх- ней)	Захват по одной поверх- ности (ниж- ней)	Размерная и весовая харак- теристика подкласса деталей			
					Внутр. диаметр мм	Дли- на мм	Высо- та мм	Мак- сималь- ная масса кг
					В	Л	Н	
								
					40 160	40 320		40 40
					40 250	40 500		40 80
					40 320	40 620		40 160
					40 400	40 800		40 250
					40 680	40 250		40 320
								
								

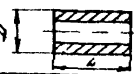












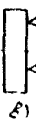






**Классификация деталей
общемашиностроительного применения, пригодных
роботами в составе Р**

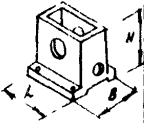
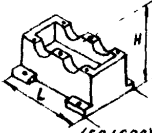
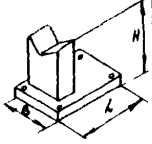
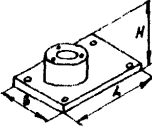
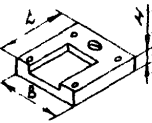
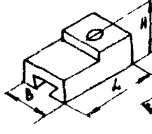
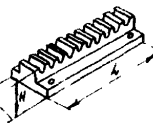
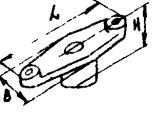
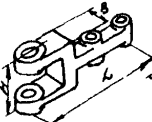
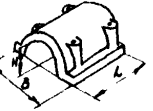
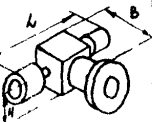

Класс 40		Детали - тела вращения		
Подклассы	Группы	Размерная характеристика	Макс. вес, кг	Методы захвата роботом
Детали - тела вращения с $L \geq 2D$ Цилиндрические гладкие, ступенчатые, конические, цилиндрические червяки	Валы гладкие		Длин., мм L по кат.	
	Валы ступенчатые односторонние		До 50 св. 30-80 св. 40-125 св. 50-160	До 500 500-1000 700-1400 1000-1600
	Валы ступенчатые двухсторонние		До 100 100-1400 1400-2000	До 40 До 80 До 160 До 250
	Зубчатые колеса заодно с валом, цилиндрические			
	Зубчатые колеса заодно с валом, конические			

Класс	Подклассы
Детали - тела вращения с $L \leq 2D$ Плоские, диски, ковшики, кольца, зубчатые колеса.	

сталей

и для заготовки промышленными
и РТК

Класс 40		Детали - тела вращения						Методы зажима работом	
Подклассы	Группы	Размеры характеристические		Макс. вес, кг					
Детали - тела вращения с $L \leq 2D$	Втулки цилиндрические, гладкие, виллы, стоканы								
	Фланцы, диски, крышки без сквозного центр. отв.								
	Фланцы, диски ступенчатые со сквозным центр. отв.			До 160 До 250 До 320 До 400	До 200 До 200 До 250 До 250	До 40 До 80 До 160 До 250			
	Кольца цилиндрические с $L < \frac{D}{2}$								
	Зубчатые колеса цилиндрические								
	Зубчатые колеса конические								

Класс 30		Детали - кроме			
Подклассы		Группы			Размерная
					Ш 4
Коробчатые детали навык	Имеющие базовые от- верстия корпуса механиз- мов привод- ных уст- ройств (501000)				До 300 30 До 500 50
	Не име- ющие базо- вых от- верстий - опоры, рамы, коробки, крышки (502000)				До 800 80 До 1000 100
Плоскостные детали на вык	Плиты, планки, рейки зуб- чатые, копирь, направля- ющие (506000)				До 300 30 До 500 50
	Выкося- тели, стойки, кронштей- ны, корпу- са подши- пников (503000)				До 800 80 До 1000 100
Детали самотурбы					

тел вращения

ноя хор-ка
L H

масса
показан
кг

Методы захвата резьбой

			а, б, в г, е, ж з, и, к
300	300	До 40	
500	500	До 160	
800	800	До 250	а, б, в
1000	1000	До 500	ж, и, к
300	60	До 20	а, б, в, г, ж, з, и, к
50	100	До 40	
800	180	До 80	а, б и, к
1000	200	До 160	
			а, б, в



а



б



в



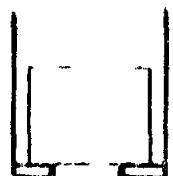
г



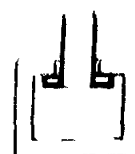
д



е



ж



з



и



к

Содержание

	Стр.
1. Основные положения	3
2. Порядок проектирования роботизированных технологических процессов (РТП)	4
3. Основные требования к разработке маршрутных и операционных РТП	5
4. Автоматизация выбора оптимального варианта транспортно-технологической схемы и проектирования РТП	9
4.1. Метод однокритериальной оптимизации	12
4.2. Метод многокритериальной оптимизации ...	13
4.3. Математическое моделирование и оптимиза- ция структуры роботизированных операций	14
4.4. Техничко-экономическое обоснование РТП ..	19
Приложения:	
1. Пояснения терминов, используемых в рекоменда- циях	26
2. Правила выбора объектов роботизации	26
3. Классификация деталей общемашиностроительного применения	37
Литература	35
Информационные данные	36