ВНИИНМАШ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Р 50-54-85-88

gost.e-ecolog.ru

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

Рекомендации

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Р 50-54-85-88

ОКСТУ 0014

Срок введения с I 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.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

I.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.

I.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.

I.4. Роботизированные технологические процессы проектируют как рабочие маршрутные и операционные на уровне предприятий, изготавливающих или ремонтирующих конкретное изделие.

I.5. Степень детализации содержания документации на роботизированные технологические процессы устанавливают в отраслевых стандартах и стандартах предприятия.

I.6. Роботизированные технологические процессы должны соответствовать требованиям техники безопасности, пожаро- и взрывобезопасности, промышленной санитарии.

I.7. Правила оформления документации на роботизированные технологические процессы определяют в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации.

I.8. Пояснение терминов, используемых в настоящих рекомендациях, приведено в справочном приложении I.

2. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (РТП)

2.I. Последовательность проектирования роботизированных технологических процессов, перечень задач, решаемых на этапах, и основные документы, необходимые для решения задач, должны соответствовать приведенным в табл.2.I.

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.I

Этапы разработки роботизированных технологических процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы, обеспечивающие решение задач
I	2	3
I. Анализ исходных данных	Ознакомление с конструкторской документацией на изделия и требованиями к эксплуатации изделий	Задание на разработку технологического процесса Конструкторская документация на изделия
	Анализ действующих технологических процессов и выбор объектов роботизации	Архив производственно-технической документации Информационно-поисковая система
	Составление перечня дополнительной информации, необходимой для разработки роботизированного технологического процесса, ее подбор	
2. Классификация изделий	Создание групп изделий, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков	Конструкторская документация на изделия Классификаторы объектов производства, учитывающие методы захвата изделия промышленным роботом, способы ориентации изделий при выполнении роботизируемых операций
	Выбор изделий-представителей для разработки или определение комплексного изделия.	Методические рекомендации МР 53-85 Правила проектирования роботизированных технологических комплексов [I] Руководящие технологические документы по классификации и группированию изделий

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

продолжение табл. 2.I

I	2	3
5. Разработка роботизированного технологического процесса	Определение последовательности выполнения операций или уточнение последовательности операций по типовому или групповому технологическому процессу	
	Определение состава средств технологического оснащения	
	Разработка роботизированных технологических операций	
6. Обоснование технико-экономической и социальной эффективности роботизированных технологических процессов	Расчет социально-экономической эффективности	
	Окончательный выбор оптимального варианта роботизированного технологического процесса	Техническая документация по расчету экономической эффективности
7. Разработка технических мероприятий по реализации роботизированного технологического процесса	Разработка технологической части проектов роботизированных технологических комплексов и систем	МР 53-85
	Разработка технических заданий на модернизацию или проектирование специальных средств технологического оснащения и систем управления	ГОСТ 3.II09-82
	Проектирование и изготовление средств технологического оснащения роботизированных технологических комплексов	Нормативно-техническая документация на изделия робототехники

продолжение табл. 2.I

I	2	3
	Разработка монтажного плана РТК	Отраслевые нормы технологического проектирования
	Монтаж и отладка робототехнических комплексов и других средств технологического оснащения	
3. Оформление комплекта документов на роботизированные технологические процессы	Оформление технологических документов на роботизированные технологические процессы	Государственные стандарты ЕСТД на оформление технологических документов ГОСТ 3.II09-82
	Нормоконтроль содержания документов на РТК	
	Согласование и утверждение документации на РТК	

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ МАРШРУТНЫХ И ОПЕРАЦИОННЫХ РТП

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 изготовляемых 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).

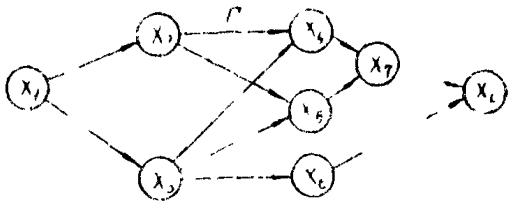
3.4. Операционные роботизированные технологические процессы следует разрабатывать с учетом возможностей существенного увеличения коэффициента сменности работы оборудования на основе полного высвобождения производственных рабочих.

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 РТП

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



Черт.1.I

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

Г – 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 использованием 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:

$$\Delta T_{и} = \Delta T_{и1} + \Delta T_{и2} = \alpha_1 C_1 + \frac{C_1 - C_2}{\alpha_2} , \qquad (4.1)$$

где $\Delta T_{и_1}$ – величина снижения трудоемкости изготовления изделий в связи с применением промышленных роботов;

$\Delta T_{и_2}$ – величина изменения данной трудоемкости в результате отработки изделия на технологичность;

γ_1 – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения трудоемкости изготовления изделий в зависимости от уровня роботизации технологического процесса;

γ_2 – коэффициент, характеризующий изменение уровня роботизации технологического процесса;

C_1 – численная величина, зависимая от конструктивно-технологических характеристик обрабатываемых изделий;

C_2 – численная величина, зависимая 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 /1/ и т.п.).

4.1. Метод однокритериальной оптимизации

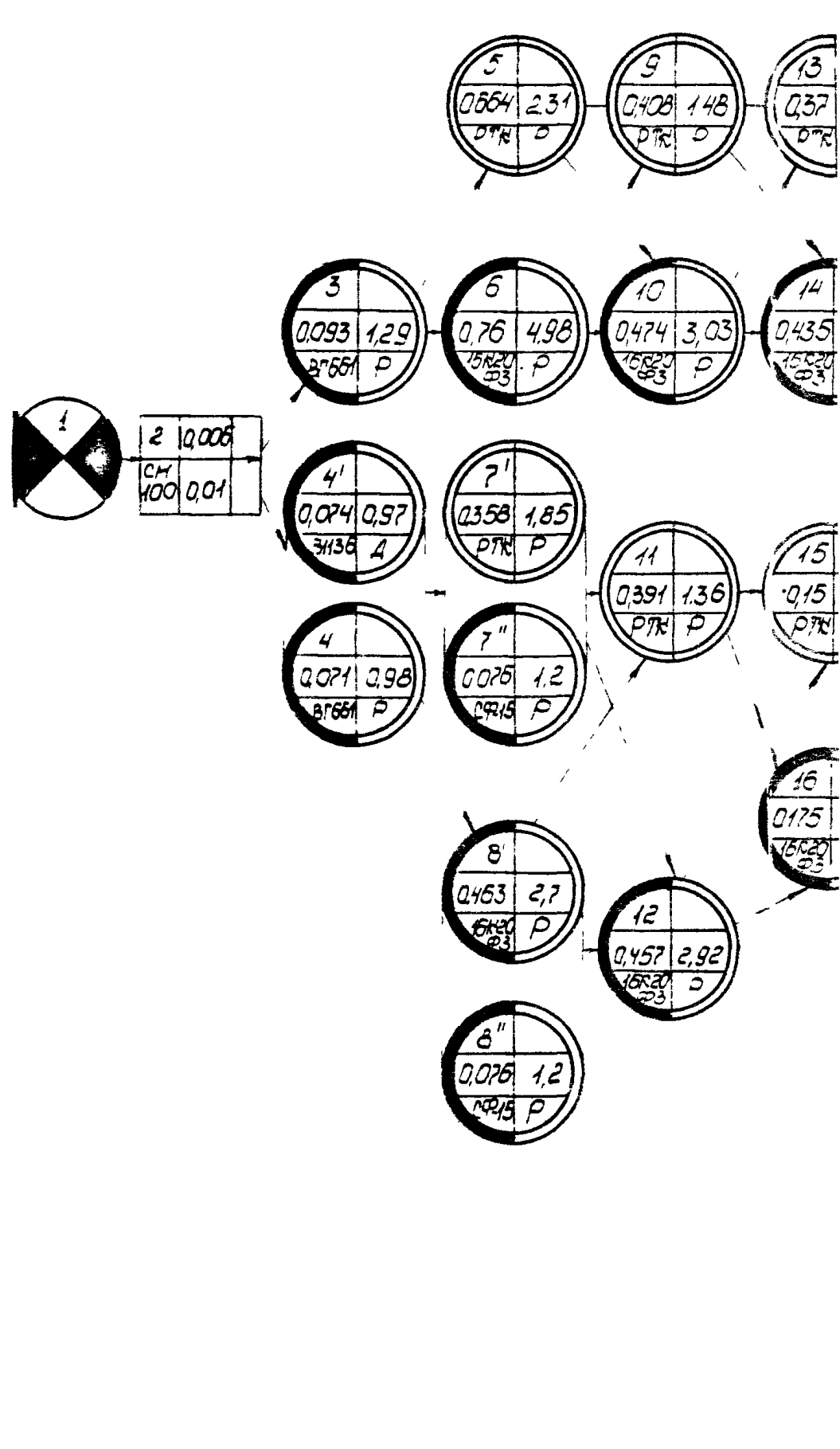
В целях выбора рационального варианта транспортно-технологической схемы все возможные полные пути на графе выстраивают в очередь по возрастанию одного из критериев оптимизации (времени или затрат и т.п.). Другие показатели, используемые в расчетах, применяют в качестве ограничений.

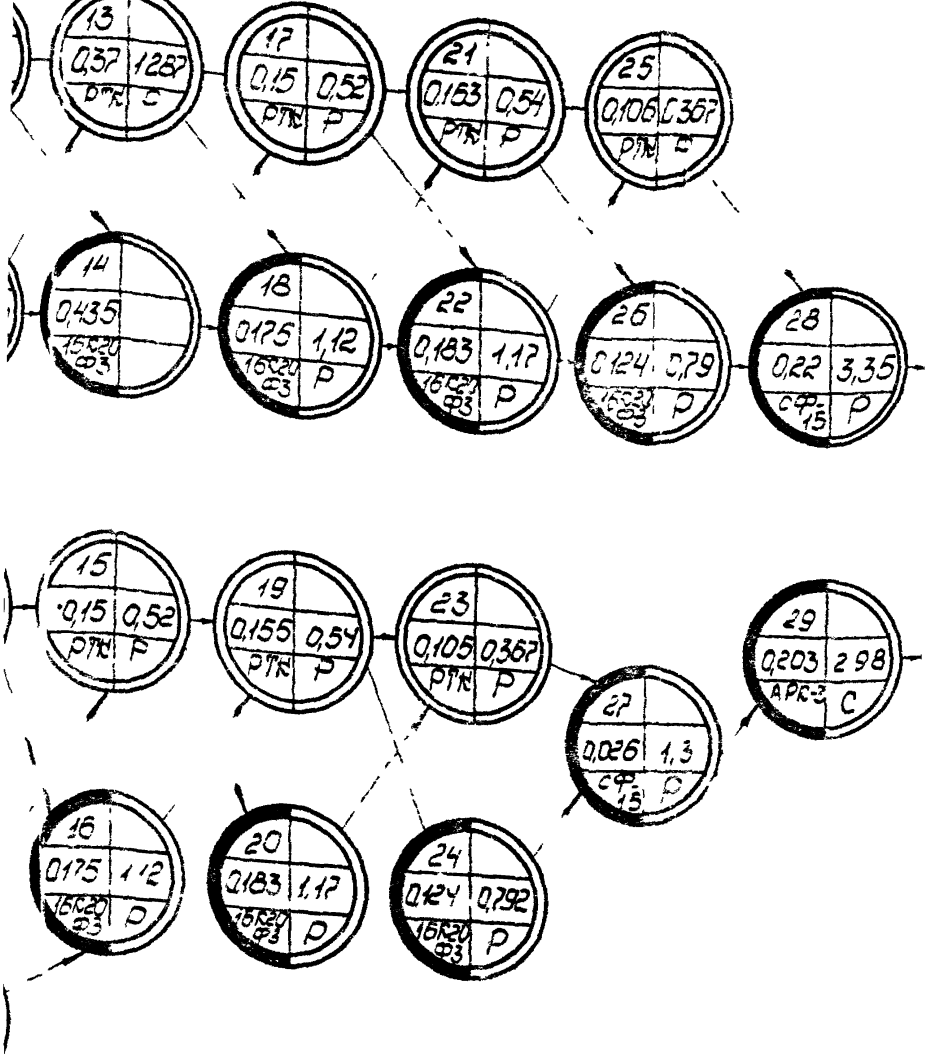
Для многовариантных транспортно-технологических схем очередь вариантов строят на ЭВМ с использованием специальных программ /3/.

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.


1
2 0,006
СЧ 100 0,01
3 0,093 1,29 ВГ661 Р
4 0,071 0,98 ВГ661 Р
4' 0,074 0,97 ЭИ136 Д
5 0,664 2,31 РТК Р
6 0,76 4,98 15К20 ФЗ Р
7' 0,358 1,85 РТК Р
7'' 0,075 1,2 ОФ15 Р
8' 0,463 2,7 15К20 ФЗ Р
8'' 0,075 1,2 ОФ15 Р
9 0,408 1,48 РТК Р
10 0,474 3,03 15К20 ФЗ Р
11 0,391 1,36 РТК Р
12 0,457 2,92 15К20 ФЗ Р
13 0,37 РТК Р
14 0,435 15К20 ФЗ
15 0,15 РТК
16 0,175 15К20 ФЗ



Контрольная операци

Транспортная опера

1 - номер вершины.

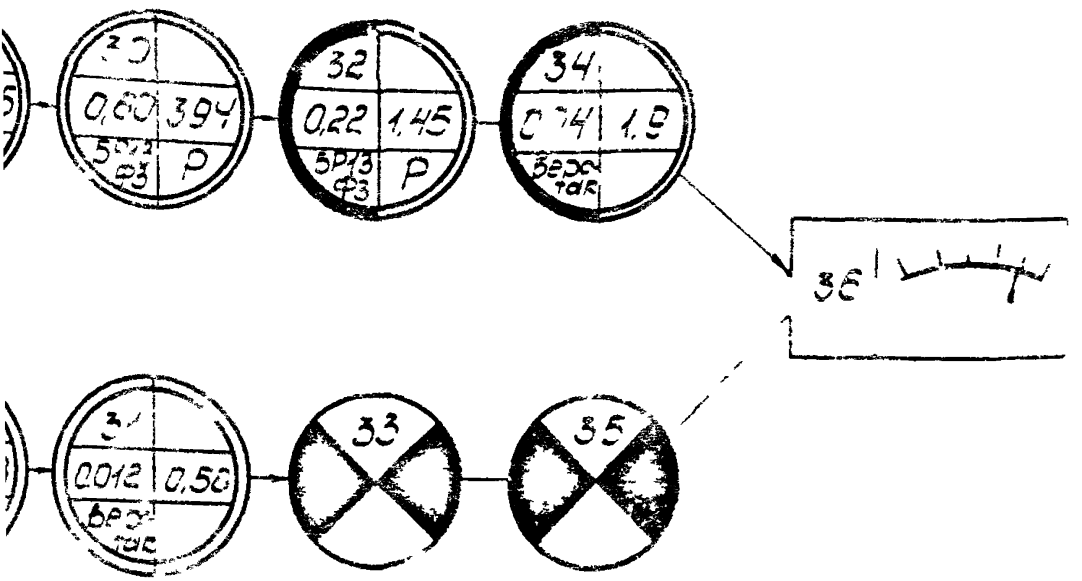
2 - штучное время ма

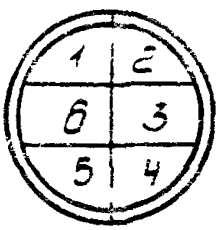
3 - приведенные затра

4 - транспортное сре

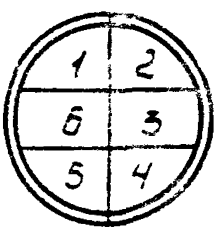
Фиктивная верши

Пример многовариантной 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

6 - приведенные затраты (руб/операцию)

Р - резание; С - сварка; Д - давление.

...ция

...ация

...ин

...ты (руб/операцию)

...дство

...ина

...еской схемы

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.

Примечание. 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.I. 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 таблицы технико-экономических показателей выбранного варианта РТК.

4.3. Математическое моделирование и оптимизация структуры роботизированных операций

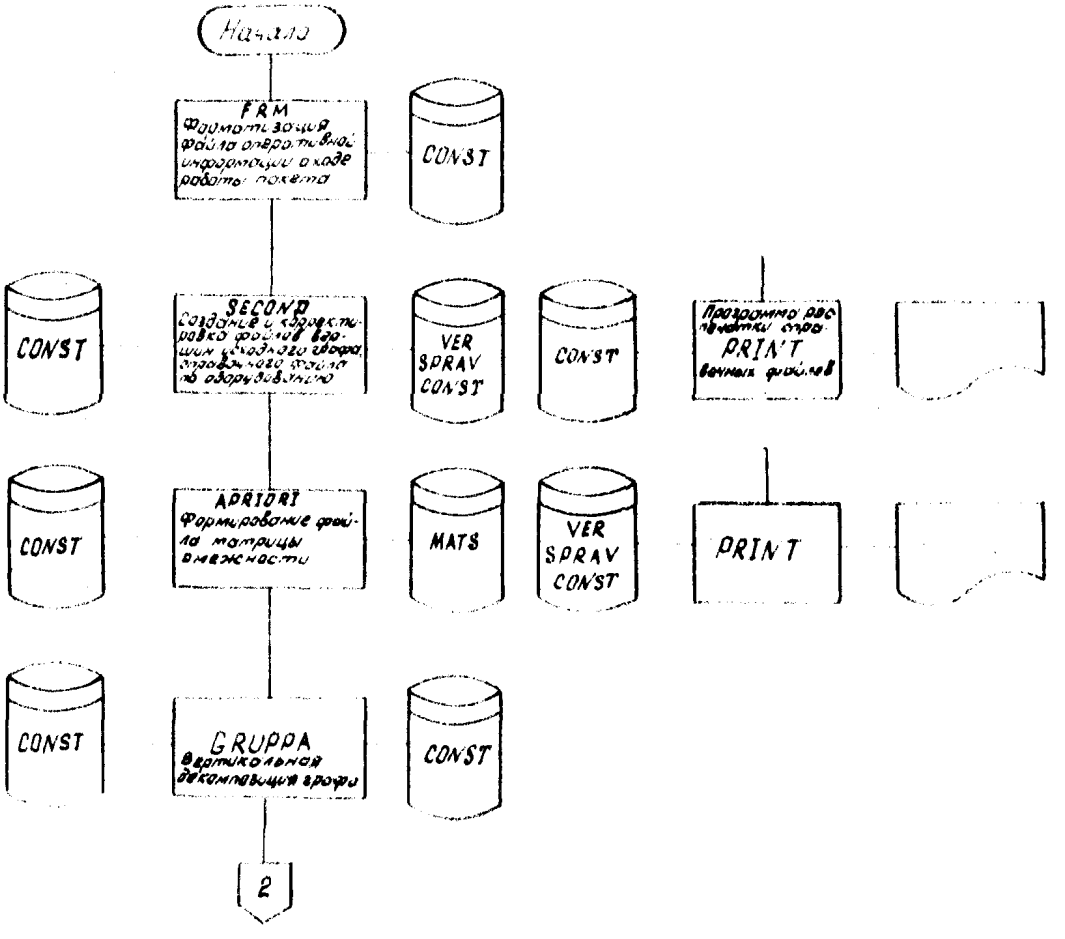
Для обоснования вариантов роботизированных технологических процессов и нормирования вершин графа математической модели (черт.4.2) рекомендуется выполнять следующие оптимизационные расчеты.

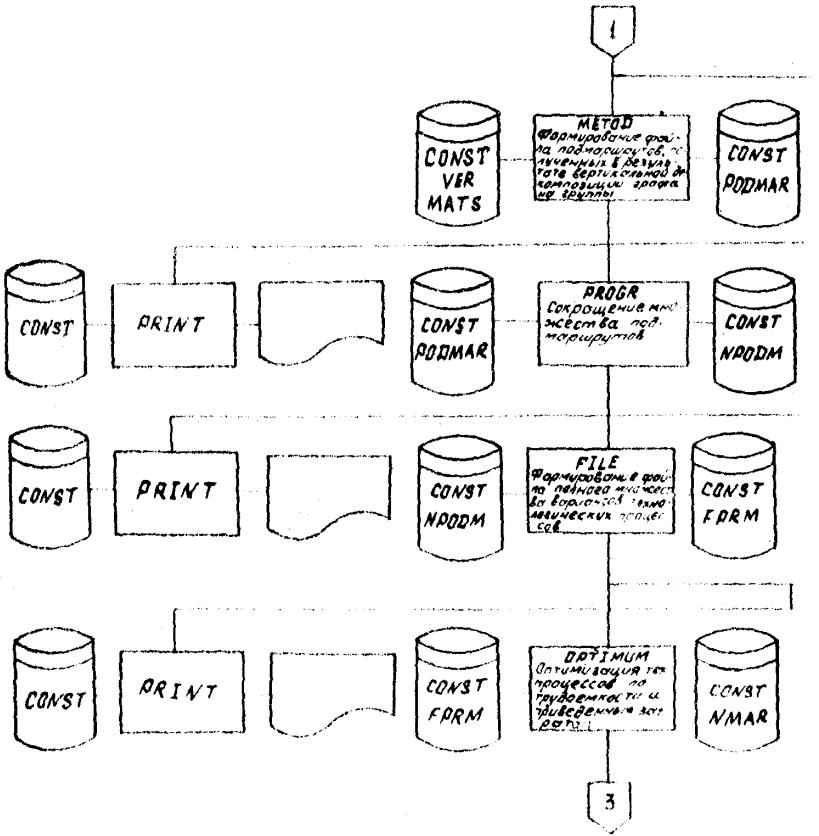
Укрупненные компоновочные расчеты /3/, которые дополняют обоснованием оптимальной нормы обслуживания промышленным роботом технологического оборудования ($n_{опт.}$) по критерию минимума приведенных затрат:

$$n_{опт} = \sqrt{\frac{З_{пр.р.} \cdot T_{ст}}{З_{пр.ст.} \cdot T_{пр}}}, \qquad (4.2)$$

где $З_{пр.р.}$ – часовые приведенные затраты на работу промышленного робота;

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


Начало
FRM
Форматизация файла оперативной информации о ходе работы пакета
CONST
SECOND
Создание и корректировка файлов вершин исходного графа, справочного файла по оборудованию
CONST
VER SPRAV CONST
CONST
Программа распечатки справочных файлов
PRINT
APRIORI
Формирование файла матрицы смежности
CONST
MATS
VER SPRAV CONST
PRINT
GRUPPA
Вертикальная декомпозиция графа
CONST
CONST
2


1
CONST VER MATS
METOD
Формирование фай-ла подмаршрутов, по-лучаемых в резуль-тате вертикальной декомпозиции графа не фрилы
CONST PODMAR
CONST
PRINT
CONST PODMAR
PROGR
Сокращение мно-жества под-маршрутов
CONST NPODM
CONST
PRINT
CONST NPODM
FILE
Формирование в фай-ла полного множе-ства вариантов техно-логических процес-сов
CONST FPRM
CONST
PRINT
CONST FPRM
OPTIMUM
Оптимизация тех процессов по трудоемкости и фондоемкости
CONST NMAR
3

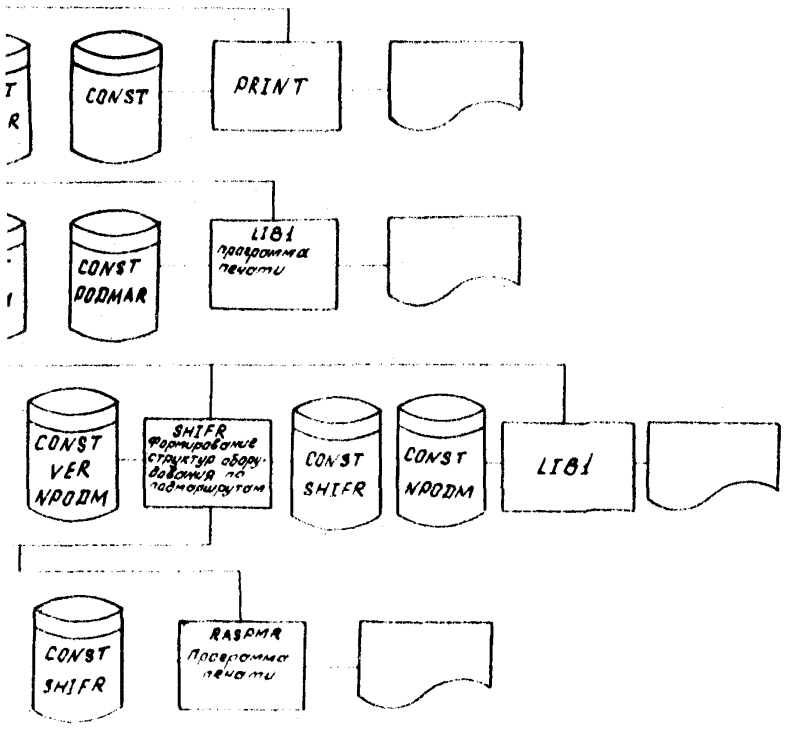

CONST
PRINT
CONST
PODMAR
LIB1
программа печати
CONST
VER
NPODM
SHIFR
Формирование структур оборудования по подмаршрутам
CONST
SHIFR
CONST
NPODM
LIB1
CONST
SHIFR
RASPMR
Программа печати

Таблица 4.1

Оптимизационная очередь вариантов рабочих технологических процессов

Ранг предпочтительности	Очередь полных путей графа многовариантной транспортно-технологической схемы (перечень вершин)	Приведенные затраты, руб.	Суммарное штучное время, мин.
I	I - 2 - 4 - 7 - II - I5 - I9 - 23 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,693	I2,053
2	I - 2 - 4 - 7 - II - I5 - I9 - 24 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,7II	I2,478
3	I - 2 - 4 - 7 - II - I6 - I9 - 23 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,7I8	I2,653
4	I - 2 - 4 - 7 - II - I5 - 20 - 23 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,72I	I2,683
5	I - 2 - 4 - 7 - II - I6 - I9 - 24 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,736	I3,078
6	I - 2 - 4 - 7 - II - I5 - 20 - 24 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,739	I3,I08
7	I - 2 - 4 - 7 - II - I6 - 20 - 23 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,746	I3,283
8	I - 2 - 4 - 7 - I2 - I5 - I9 - 23 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,759	I3,6I3
9	I - 2 - 4 - 7 - II - I6 - 20 - 24 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,764	I3,708
I0	I - 2 - 4 - 7 - I2 - I5 - I9 - 24 - 27 - 29 - 3I - 33 - 35 - 36	I,777	I4,I08

$T_{ст.}$ – 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 $P_{опт.}$ параметру надежности системы осуществляется по формуле:

$$n_н = \left(\frac{1-\eta_{ртк}}{\eta_{ртк}}\right) \frac{\eta_{ст}}{1-\eta_{ст}} \qquad (4.3)$$

$$\eta = \frac{\Theta_р}{\Theta_р + \sum \Theta_с}, \qquad (4.4)$$

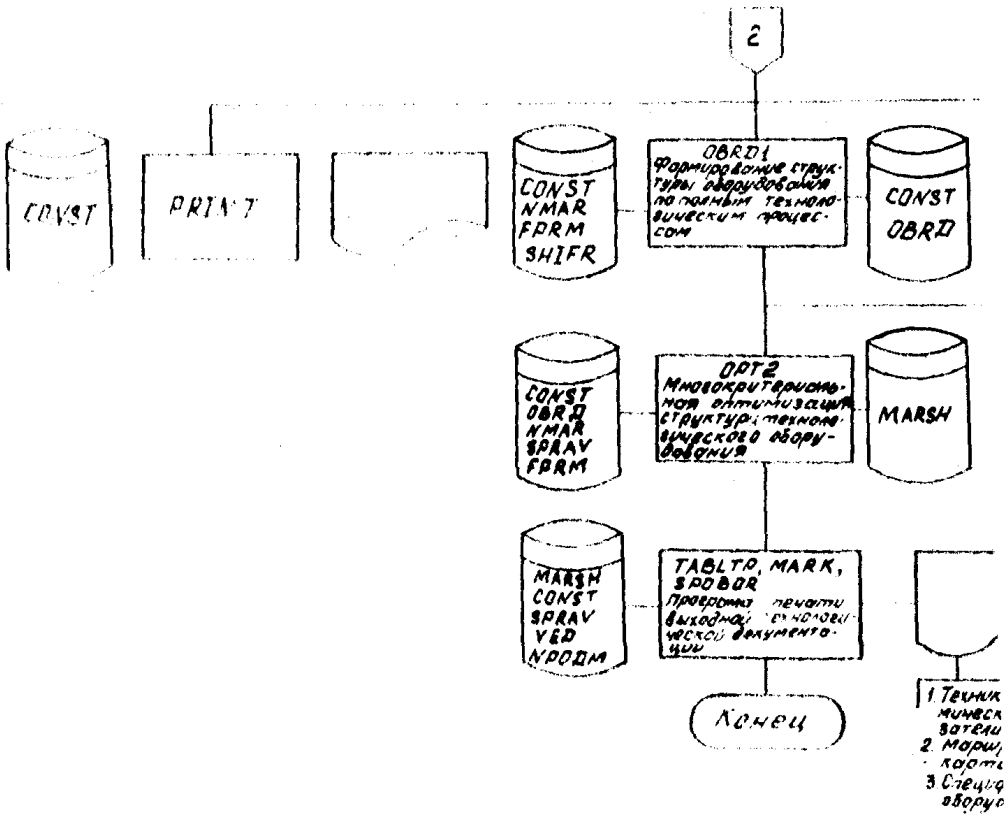
где $\eta_{ртк}$ – коэффициент технического использования РТК или гибкого производственного модуля на базе РТК (ожидаемая величина);

$\eta_{ст}$ – коэффициент технического использования станка;

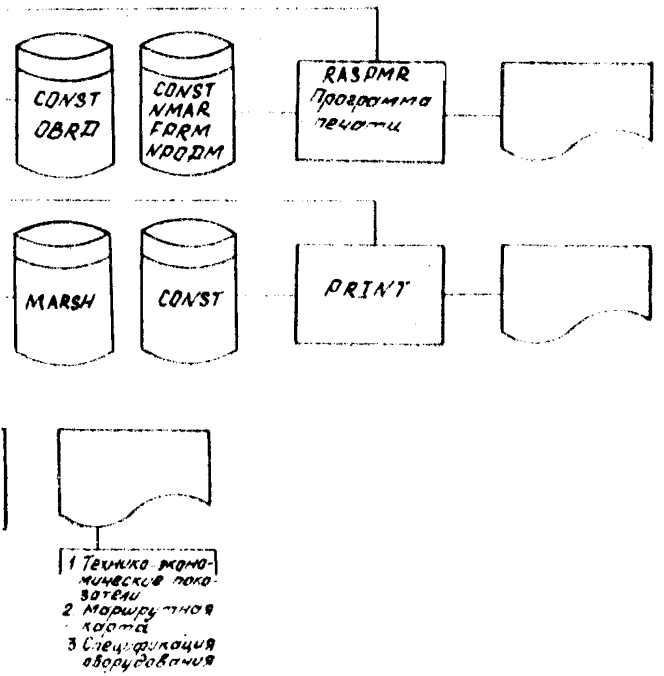
$\Theta_р$ – время непосредственной работы механизма (станка, РТК, ГПМ) за отрезок времени Θ ;

$\sum \Theta_с$ – собственные простои механизма (станка, РТК, ГПМ) за тот же отрезок времени.

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



Чертеж 4.3. Лист 3


CONST
OBRD
CONST
NMAR
FORM
NPODM
RASPMR
Программа
печати
MARSH
CONST
PRINT
1 Технико экономические показатели
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. Технико-экономическое обоснование РТП

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

расчет потенциального экономического эффекта на стадиях НИР, 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.

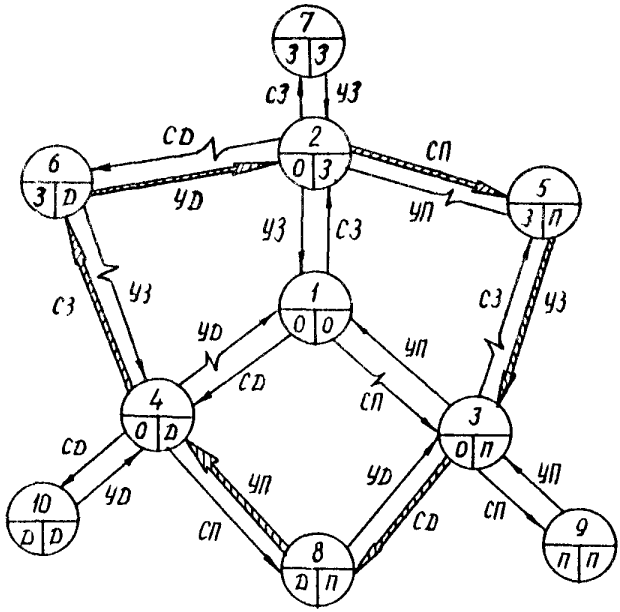
Методологической основой расчета является схема кругооборота капитальных вложений при внедрении роботизированных технологических процессов (черт.1.5).

Расчет экономического эффекта на уровне народного хозяйства производится по формуле:

$$Э_{н} = Э_{вн} + Э_{п} + Э_{соц} \qquad (1.5)$$

где $Э_{вн}$ – экономический эффект, получаемый в результате снижения текущих затрат;

$Э_{п}$ – 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;

i u вариант;

Д – деталь;

П – полуфабрикат;

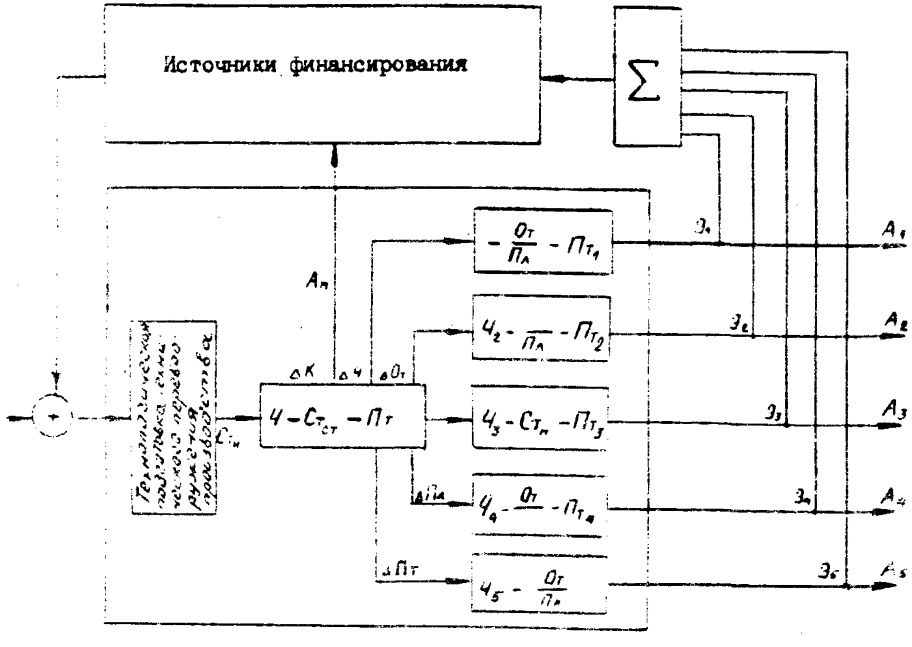
З – заготовка;

О – схват свободен;

У установить;

С снять.

Черт. 4.4. Граф цикла функционирования РТК (ГПМ)



Условные обозначения:

К – капиталовложения;

Ст – средства труда (н)-новые, (ст)-старые;

Ч – рабочие;

Пт – предмет труда;

От – орудия труда;

Пл – площади;

A_i – дополнительный объем выпуска продукции;

$Э_i$ – дополнительная прибыль, полученная за счет капиталовложений в реконструкцию и техническое перевооружение;

R_i – внешние источники финансирования.

Ам – амортизационные отчисления.

Черт.4.5.Схема оборота капиталовложений при техническом перевооружении действующего производства на основе внедрения роботизированных технологических процессов.

$Э_{соц}$ – эффект в социальной сфере (рассчитывается в соответствии с типовыми методиками /4;5/).

$$Э_{вн} = \Delta C - E_н K_2 , \qquad (4.6)$$

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

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

$$Э_п = k_м C_{зп} + \sum_i E_i K_i , \qquad (4.7)$$

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

$C_{зп}$ – 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.

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

$$Э_{вн} = \Delta C - \alpha_к \cdot K_2 - \alpha_ф (K_2 - K_1) - \alpha_ч (Ч_2 - Ч_1), \qquad (4.8)$$

где $\alpha_к$ – ставка за банковский кредит, т.е. сумма оплаты процентов на капитальные средства (0,05 – 10%);

$\alpha_ф$ – процент платы за фонды;

$\alpha_ч$ – плата за трудовые ресурсы;

$Ч_1, Ч_2$ – численность работающих до и после внедрения роботизированного технологического процесса с учетом перераспределяемой части.

$$Э_п = \sum_i P_p K_i + Л + \alpha_{пр} B \Delta Ч , \qquad (4.9)$$

где P_p – рентабельность расчетная по отношению к i-му средству производства;

$И_i$ – часть i средств производства, перераспределенных внутри хозрасчетного предприятия;

Л – выручка от реализации выбывших производственных средств на сторону (*ликвидации*);

$\Delta Ч$ – количество работающих, высвобожденных и перераспределенных внутри предприятия;

В – годовая выработка реализованной продукции на одного работающего руб/чел.;

$\alpha_{пр}$ – норматив прибыли на 1 руб. реализованной продукции.

Изложенные методические основы технико-экономического обоснования роботизированных технологических процессов в условиях математического моделирования их внедрения реализуется с использованием сетей Петри. Модель функционирования системы 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 ⊙ с одного места на другое ⊙ → ○ , ○ → ⊙ ;

при наличии финансовых средств на входе в модель P_1 возникает возможность запуска сети;

срабатывает переход t_1, заключающийся в перераспределении финансовых ресурсов между надсистемой и подсистемой, в результате чего в надсистему P_4 и подсистему P_2 поступают материальные ресурсы K_i, приобретенные в соответствии с проектом;

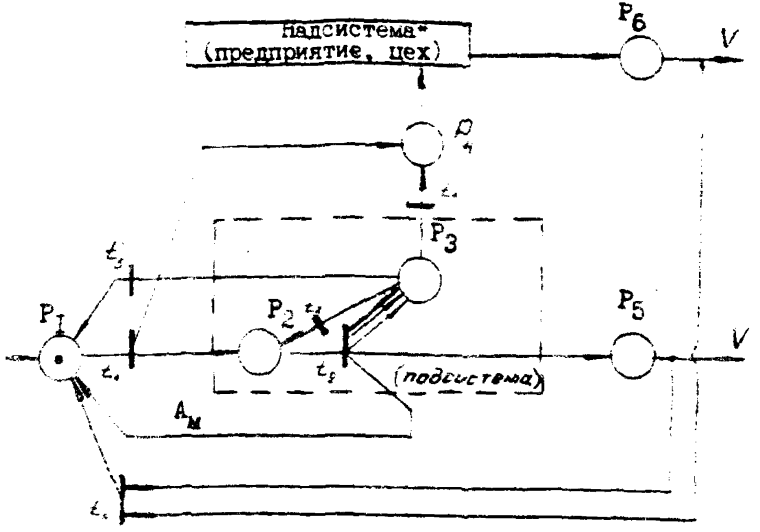
наличие материальных ресурсов P_2 создает условия для их внедрения. Результатом является высвобождение имевшихся ранее ресурсов (оборудование, площади, рабочие) P_3 и изменение амортизационных отчислений;

высвобожденные ресурсы P_3 (оборудование, площади, рабочие) создают условия для реализации трех переходов t_3, t_4, t_5.

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

этого будет и различный результат функционирования системы, который проявляется в том, что результирующая величина $Э_р$ 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_i, попадающие в подсистему;

t_2 - событие внедрения R_i ресурсов в подсистему;

P_3 - высвобожденные ресурсы ΔR_i, подлежащие перераспределению;

t_3 - событие перераспределения части ΔR_i внутри подсистемы;

t_4 - событие перераспределения части ΔR_i в надсистему;

t_5 - событие реализации части ΔR_i в виде вторичных ресурсов;

P_4 - материальные ресурсы, попадающие в надсистему, R_{i+1};

$P_{5(V)}$ - продукт функционирования подсистемы;

$P_{6(V)}$ - продукт функционирования надсистемы;

t_6 - событие реализации продукта и получения денежных средств в виде прибыли;

$A_м$ - амортизационные отчисления;

* - надсистема функционирует аналогично подсистеме относительно систем более высокого уровня.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Справочное

ПОЯСНЕНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ 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 принимают 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 предприятии 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 производств	I – 3
Ведущие конструкторы служб новой техники, механизации и автоматизации, конструкторы изготовляемых 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.

Примечания:

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, f_{ie}, балл 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 оборудования	7	9	8	8	8	0,108

Продолжение табл.II 2.2

Наименование фактора комплексной оценки производства	Оценка значимости фактора, f_{ij}, балл				Средняя оценка значимости фактора	Относительная оценка значимости фактора
	специалисты					
	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	0,108
Степень поддержки персоналом мероприятий по роботизации производства	6	5	7	5	6	0,081
Итого:					74	

Примечания:

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

$$f_i = \frac{\sum_{l=1}^{L} f_{il}}{L}$$

где f_{il} – оценка i-го фактора l-м специалистом-экспертом по 10 балльной шкале, балл;

L – численность группы специалистов-экспертов, чел.,

i – порядковый номер фактора комплексной оценки производства, $i = 1,\dots I$

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

$$z_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{I} f_i}$$

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 f_{il}, 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.II.2.3

Наименование факторов комплексной оценки производства	Относительная оценка значимости фактора	Оценка меры влияния фактора на принятие решения в пользу роботизации /.../, баллы				
		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 требованиям	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	0,104	7	4	5	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	5	8
Степень поддержки персоналом мероприятий по роботизации производства	0,091	10	8	7	9	9
Комплексная оценка объекта		7,61	6,57	6,75	6,81	7,32

Примечания:

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

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

$$Q_j = \sum_{i=1}^{n} (f_{ij} \cdot z_i),$$

где j – порядковый номер оцениваемого объекта, $j = 1, 2, \ldots$

f_{ij} – оценка меры влияния i-го фактора ℓ-м специалистом для j-го объекта;

z_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 ротизации в соответствии с табл. П.2.5.

Таблица П.2.4

Присвоение ранга предпочтительности объектам

Специалист	Комплексная оценка объекта Q_j, балл. Рабочие места				
	I-е	2-е	3-е	4-е	5-е
I-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	7,09
Итоговая оценка объекта	7,38	7,31	6,94	6,46	7,21
Ранг предпочтительности объекта	I	2	4	5	3

Примечания:

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

2. Ранги объектов обозначают числами натурального ряда от I до m, где m – число оцениваемых объектов. Меньший ранг присваивают объекту с большей итоговой оценкой

Таблица П.2.5

Перечень предварительно отобранных объектов роботизации

Рабочее место (объект)	Итоговая оценка объекта a_i, балл	Ранг предпочтительности объекта
I-е	7,38	I
2-е	7,3[illegible]	2
5-е	7,2[illegible]	3

Литература

I. 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 МИ 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 ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Приказом ВНИИМАШ № 187 от 28 июня 1988 г.

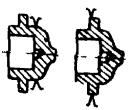
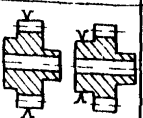
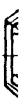
3. ВЗАМЕН ГОСТ 14.323-84, ГОСТ 14.324-84

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 общемашиностр
принципу их захвата промышлен

Класс „40" - тела вращения

Метод захвата изделия промышленным роботом / Группы деталей (характеристика группы по РТМ)	Зажим детали за наружную поверхность в одном сечении	Зажим за наружную поверхность в двух сечениях (по одинаковому диаметру)	Зажим за наружную поверхность в двух сечениях (по разным диаметрам)	Зажим внут... повер... (в р...
				1...
Втулки цилиндрические гладкие, гильзы, стаканы 40 3000				
Фланцы, диски, крышки (без сквозного и со сквозным отверстием) 40 4000				
Втулки ступенчатые со сквозным центровым отверстием, в т.ч. зубчатые колеса цилиндрические, червячные 40 5000 - 40 6000				
Кольца цилиндрические с $L < \frac{D}{2}$ 40 3000				
Зубчатые колеса конические 40 7000				
Детали с фланцем, изогнутые из листов, полос				

Классификация деталей
общемашиностроительного применения

Таблица 1.3.1

...шиностроительного применения по
...омышленными роботами.

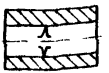
...за наруж... ...ерхность ...ениях ...ым ...тром)	Зажим за внутреннюю поверхность (в разжим)	Зажим за два торца	Захват по одной поверхности (верхней)	Захват по одной поверхности (нижней)	Размерная и весовая характеристика подкласса деталей			
					Ширина B	Длина (мм) L	Высота (мм) H	Масса кг
					До 160	До 320	-	До 40
					До 250	До 500		До 80
					До 320	До 640		До 160
					До 400	До 800	-	До 250
					До 680	До 250	-	До 320



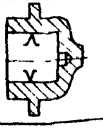


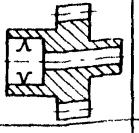


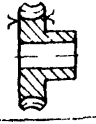






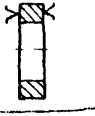




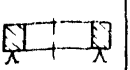


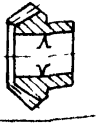


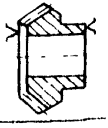


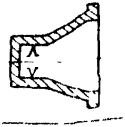


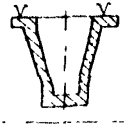












Классификация детале
общемашиностроительного применения, приеодн
роботами в составе Р

Класс	40	Детали - тела вращения				
Подклассы		Группы	Размерная характеристика		Макс вес, кГ	Методы захвата роботом
Детали - тела вращения с $L > 2D$	Валы прямоосные гладкие, шлицевые, ступенчатые; зубчатые колеса конические, цилиндрические червяки	40 1000 Валы гладкие	D_{max}, мм	L_{max}, мм		
		40 1000 Валы ступенчатые односторонние	До 50 св 30 ÷ 80 св 40 ÷ 125 св 50 ÷ 160	До 500 500 ÷ 1000 710 ÷ 1400 1000 - 1400 1400 - 2000	До 10 До 40 До 80 До 160 До 250	
		40 2000 Валы ступенчатые двухсторонние				
		40 6000 Зубчатые колеса заодно с валом, цилиндрические				
		40 7000 Зубчатые колеса заодно с валом, конические				

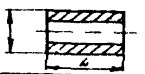
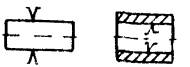
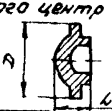
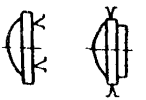
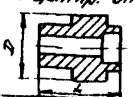
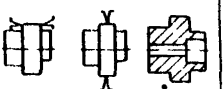
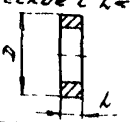
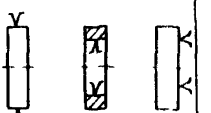
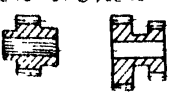
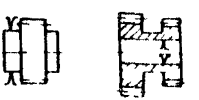
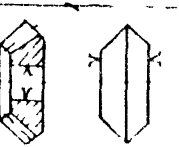
Клас	
Подкл	
Детали - тела вращения с $L \leq 2D$	Фланцы, диски, крышки, кольца, зубчатые колеса.

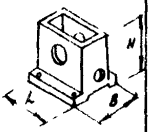
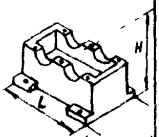
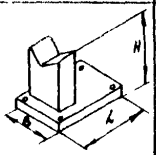
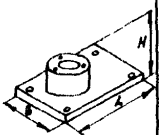
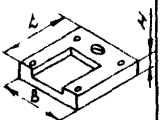
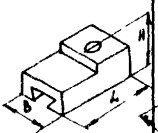
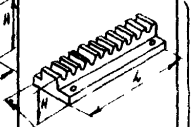
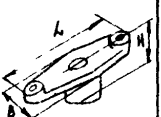
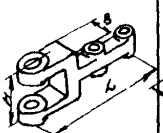
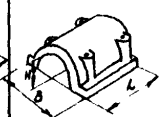
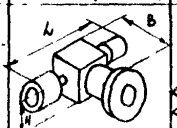
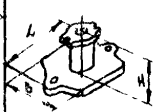
еталей

Таблица II.3.9

ичеадных для загрузки промышленными

гве РТК

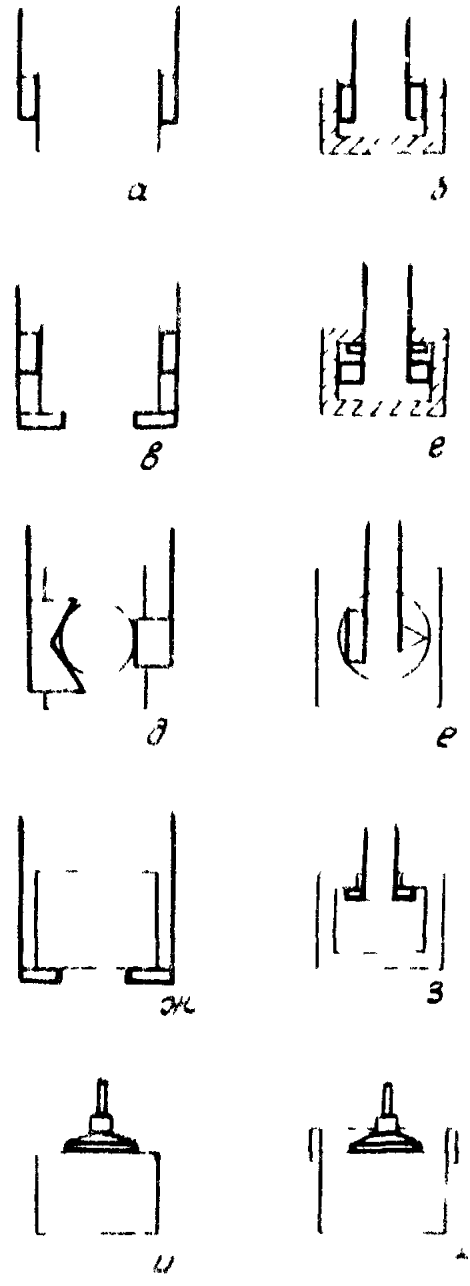
Класс 40			Детали - тела вращения				
Подклассы			Группы	Размерная характеристика		Макс вес, кг	Методы захвата роботом
				D_{max}, мм	L_{max}, мм		
Детали - тела вращения с $L \leq 2D$	Фланцы, диски, крышки, кольца, зубчатые колеса, гильзы, цилиндры, втулки	40 000	Втулки цилиндрические, гладкие, гильзы, стаканы 	До 160 До 250 До 320 До 400	До 200 До 200 До 250 До 250	До 40 До 80 До 160 До 250	 а) б)
		404000	Фланцы, диски, крышки без сквозного центр отв 				 а) б)
		405000	Фланцы, диски ступенчатые со сквозным центр. отв. 				 а) б) в)
		403000	Кольца цилиндрические с $L < \frac{D}{2}$ 				 а) б) в)
		406000	Зубчатые колеса цилиндрические 				
		407000	Зубчатые колеса конические 				

Класс 50					Детали - кроме г	
Подклассы		Группы			Размерная	
					B	L
Коробчатые детали H≤B≤L	Имеющие базовые отверстия корпуса механизмов приводных устройств (501000)	 (501200)	 (501600)		До 300 До 500	30 50
	Не имеющие базовых отверстий - опоры, рамы, коробки, крышки (502000)	 (502100)	 (502400)		До 800 До 1000	80 100
Плоскостные детали H≤B≤L	Плиты, планки, рейки зубчатые, копиры, направляющие (506000)	 (506300)	 (506700)	 (50680)	До 300 До 500	300 50
Фигурные детали	Рычаги, шатуны, стойки, кронштейны, корпуса подшипников 503000	 (503100)	 (503200)	 (503700)	До 800 До 1000	800 1000
Детали арматуры	Корпуса и крышки трубопроводной и соединительной арматуры (508000)	 (508200)	 (508400)			

тел вращения

ная L	хар-ко H	масса макс. кг	
			а, б, в
			е, е, ж
300	300	До 40	з, и, к
500	500	До 160	
800	800	До 250	а, в, д
1000	1000	До 500	ж, ш, к
			а, б,
			в, г,
300	60	До 20	ж, з,
50	100	До 40	ш, к
			а, д
800	160	До 80	ш, к
1000	200	До 160	
			а, в,
			д

Методы захвата



Содержание

	Стр.
1. Основные положения	3
2. Порядок проектирования роботизированных технологических процессов (РТП)	4
3. Основные требования к разработке маршрутных и операционных РТП	8
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 оптимизация структуры роботизированных операций	14
4.4. Технико-экономическое обоснование РТП	19
Приложения:	
1. Пояснения терминов, используемых в рекомендациях	26
2. Правила выбора объектов роботизации	26
3. Классификация деталей общемашиностроительного применения	37
Литература	35
Информационные данные	36

gost.e-ecolog.ru