



ПРОЕКТИРОВАНИЕ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Р 50-54-85-88

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
(Госстандарт СССР)

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по нормализации в машиностроении
(ВНИИ НМАШ)

Утвержденны

Приказом ВНИИ НМАШ
№ 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 ОСИ4

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.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Общие правила проектирования роботизированных технологических процессов должны соответствовать установленным в системах технологической подготовки производства.

I.2. Роботизированные технологические процессы проектируются 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)

2.1. 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 роботизи- рованных технологических процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы, обеспечивающие решение задач
I	2	3
1. Анализ исходных данных	<p>Изнакомление 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 группы изделий, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков</p>	<p>Конструкторская документация на изделия</p> <p>Классификаторы объектов производства, учитывающие методы захвата изделия промышленным роботом, способы ориентации изделий при выполнении работизируемых операций</p>
	<p>Выбор изделий-представителей для разработки или определение комплексного изделия.</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>

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

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 Разработка технических заданий на модернизацию или проектирование специальных средств технологического оснащения и систем управления Проектирование и изготовление средств технологического оснащения роботизированных технологических комплексов	МР 53-85 ГОСТ 3.1109-82 Нормативно-техническая документация на изделия роботехники

продолжение табл. 2.1

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

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ МАРШРУТНЫХ И ОПТИМАЛЬНЫХ РПП

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 – г₁ упирение изг₁ таляемых 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).

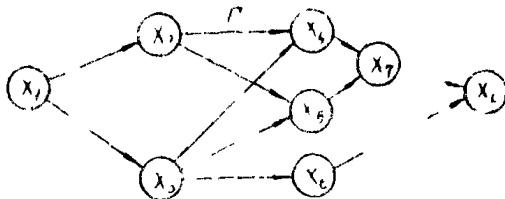
3.4. Операционные роботизированные технологические процессы следует разрабатывать с учетом возможностей существенного увеличения коэффициента сменности работы оборудования на основе полного высвобождения производственных рабочих.

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 многоступенчатого обслуживания промышленным роботом, следует разрабатывать на основе многовариантных схем выполнения технологических и вспомогательных переходов.

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

Многовариантную транспортно-технологическую схему строят в виде технологического маршрутного графа $\hat{G} (X, G)$ (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 графике 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;

технической 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 многофункциональной 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 конструкций средств технологического оснащения роботизированных технологических комплексов.

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

$$\Delta T_{\text{н}} = \Delta T_{\text{н}1} + \Delta T_{\text{н}2} = d_1 C_1 + \frac{C_1 - C_2}{d_2}, \quad (4.1)$$

где $\Delta T_{\text{н}1}$ – величина снижения трудоемкости изготовления изделий в связи с применением промышленных роботов;

$\Delta T_{\text{н}2}$ – величина изменения данной трудоемкости в результате отработки изделия на технологичность;

- α_1 - коэффициент, характеризующий интенсивность изменения трудоемкости изготавления 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.).

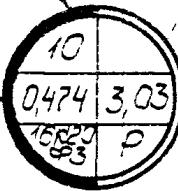
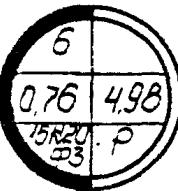
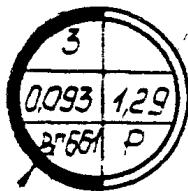
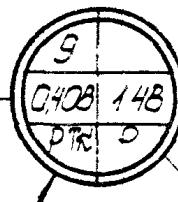
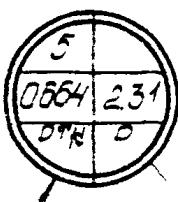
4.1. Метод однокритериальной оптимизации

В целях выбора рационального варианта транспортно-технологической схемы все возможные полные пути на графике выстраиваются 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 'З'.

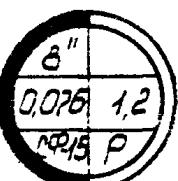
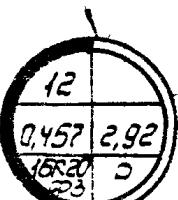
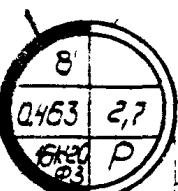
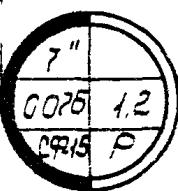
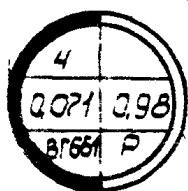
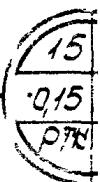
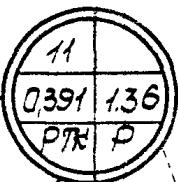
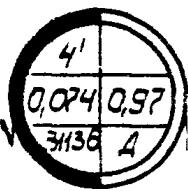
Полученная очередь вариантов выполнения транспортно-технологических схем проходит экспертную доработку по факторам, не учтенным в математической модели:

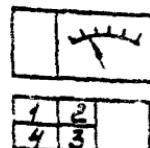
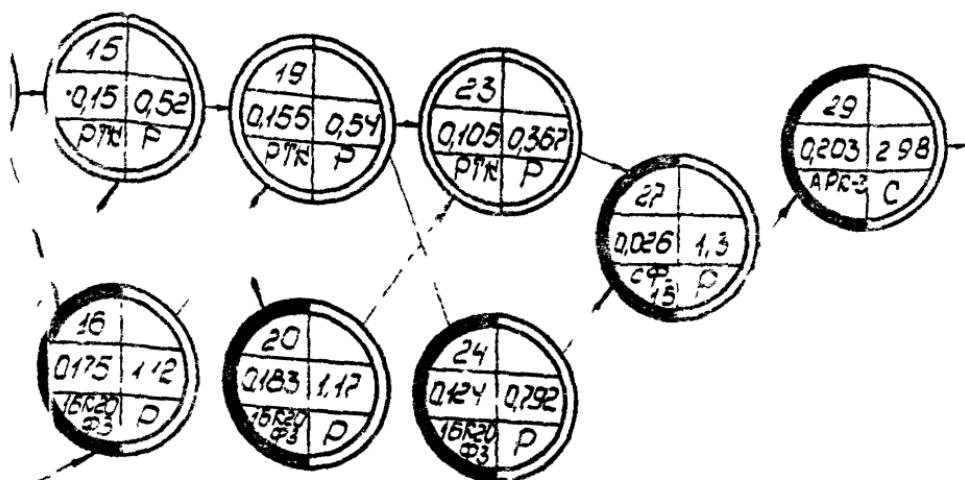
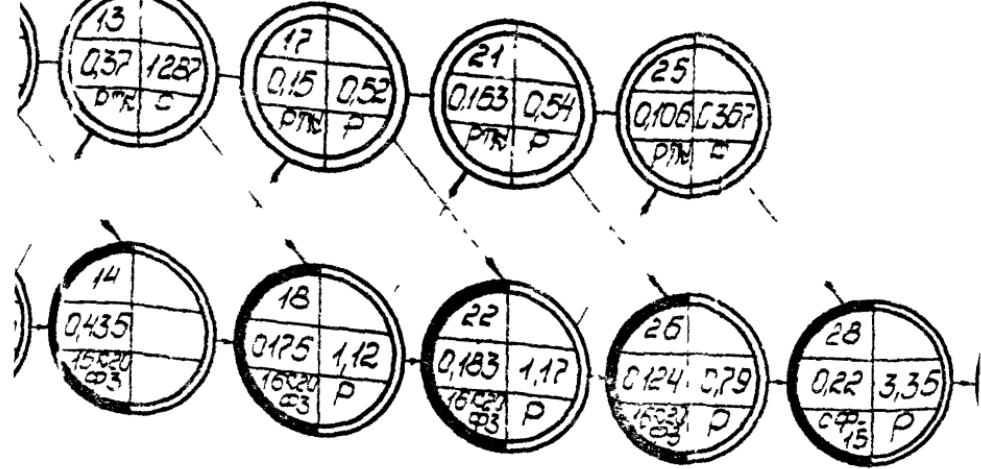
- материально-технического снабжения;
- пожаро- и взрывобезопасности и т.д.



2 12006

CH	
100	0,01





Контрольная операци

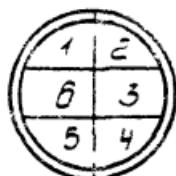
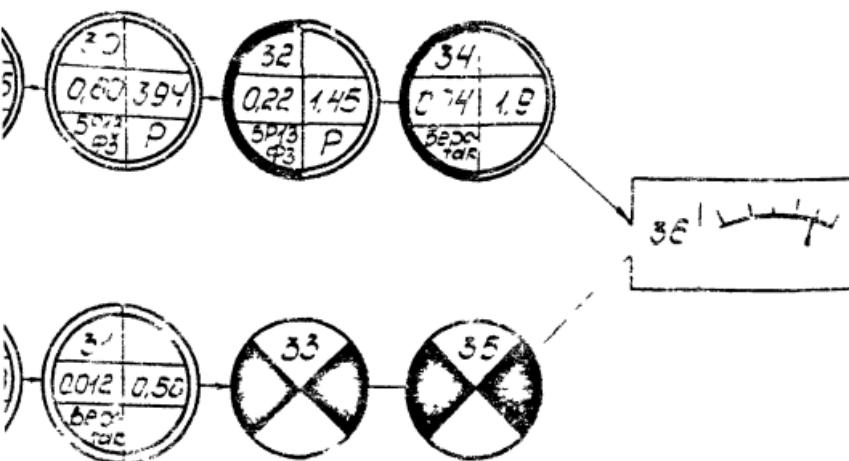
Транспортная операц

- 1 - номер вершины
- 2 - штучное время мес
- 3 - прикрепленные запоры
- 4 - транспортное сред

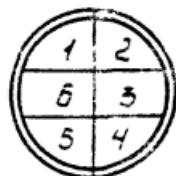


Фактическая верши

ПРИМЕР МНОГОВАРИАНТНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ



Операция выполняется с
участием человека



Операция выполняется без
участия человека

- 1- номер вершины графа
- 2- номер обрабатываемых поверх-
ностей переходов
- 3- норма штучного времени, мин
- дополнительные характеристики
выполняемой операции
- 5- модель оборудования
- 6- приведенные затраты/руб/операции
р-резание; С-сварка; Д-давление.

418
ация

ции.
ты (руб/операцию)
чество

1418

еско-схема

Для этого группа экспертов оценивает варианты транспортно-технологических схем в последовательности от наиболее предпочтительных маршрутов, исходя из 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 и я . 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 многоцелевой оптимизации вариантов технологических процессов.

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

Результатом работы данного программного комплекса является: 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 РШ.

4.3. Математическое моделирование и оптимизация структуры роботизированных операций

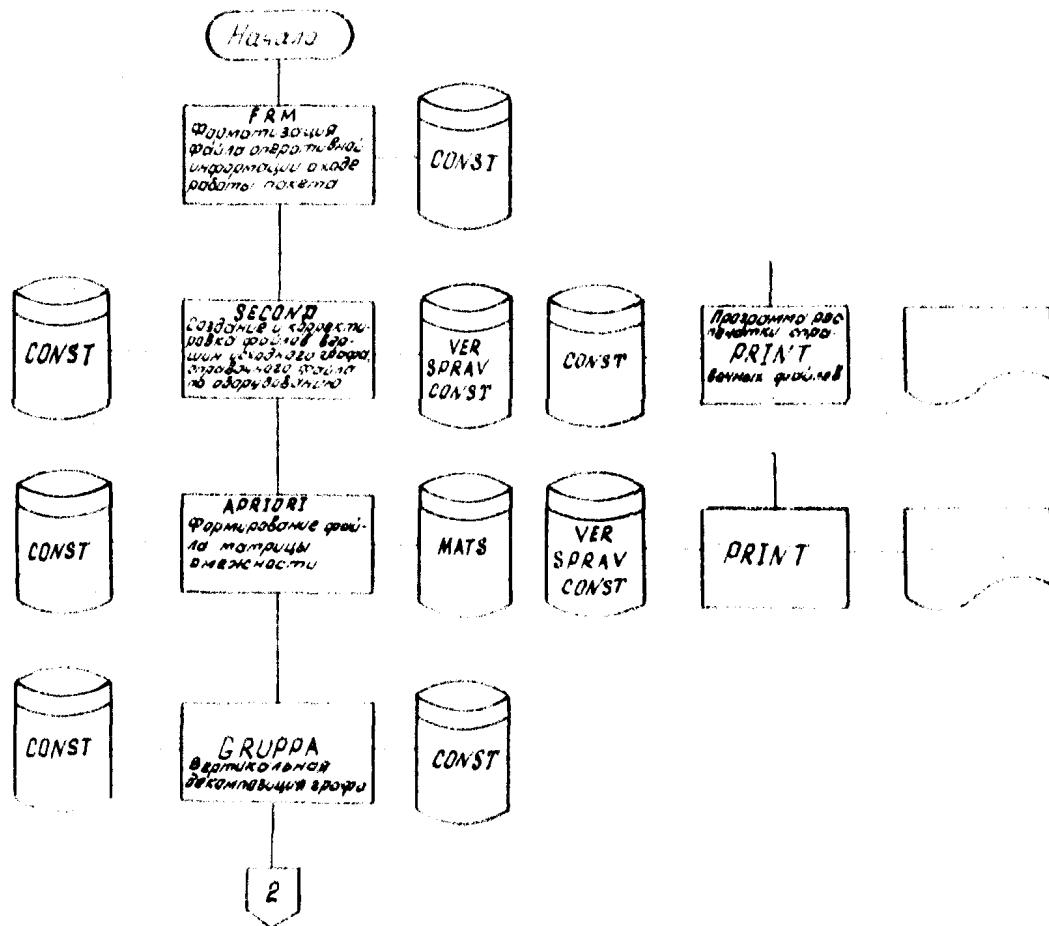
Для обоснования вариантов роботизированных технологических процессов и нормирования вершин графа математической модели (черт.4.2) рекомендуется выполнять следующие оптимизационные расчеты.

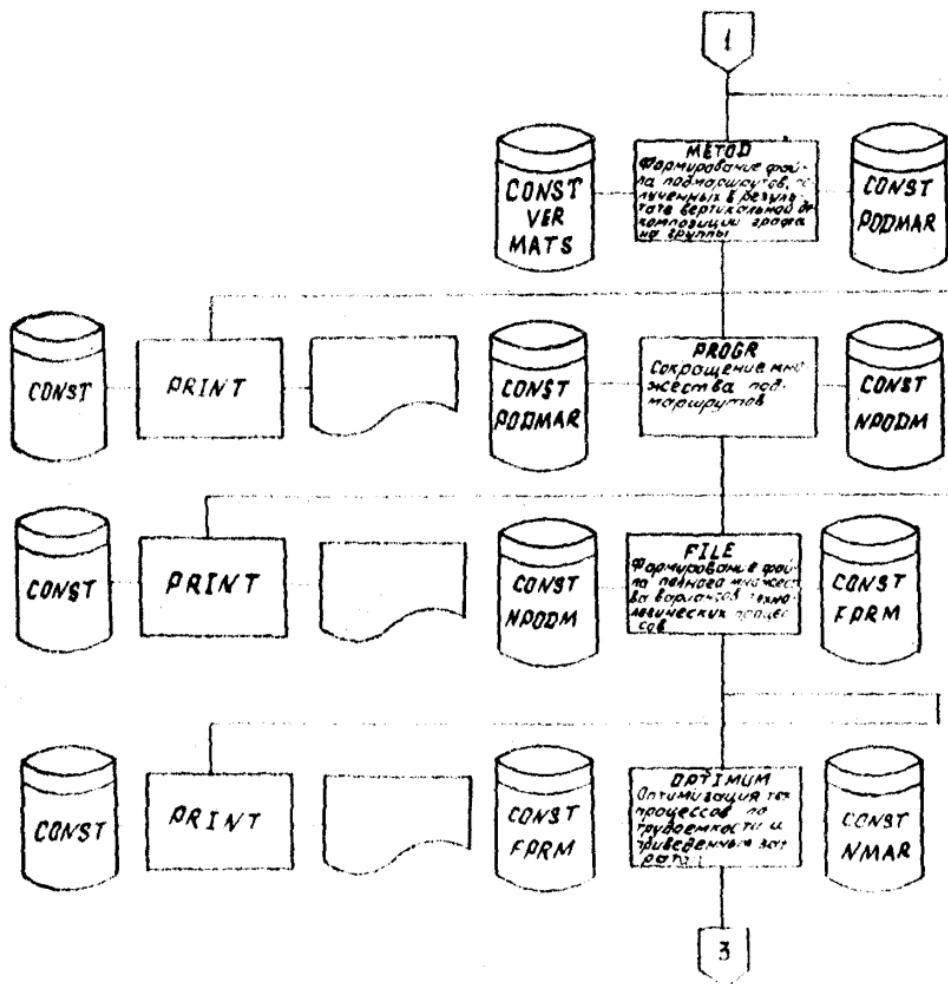
Укрупненные компоновочные расчеты /3/, которые дополняют обоснованием оптимальной нормы обслуживания промышленным роботом технологического оборудования ($n_{\text{опт.}}$) по критерию минимума приведенных затрат:

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

где $Z_{\text{пр.р.}}$ - часовые приведенные затраты на работу промышленного робота;

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





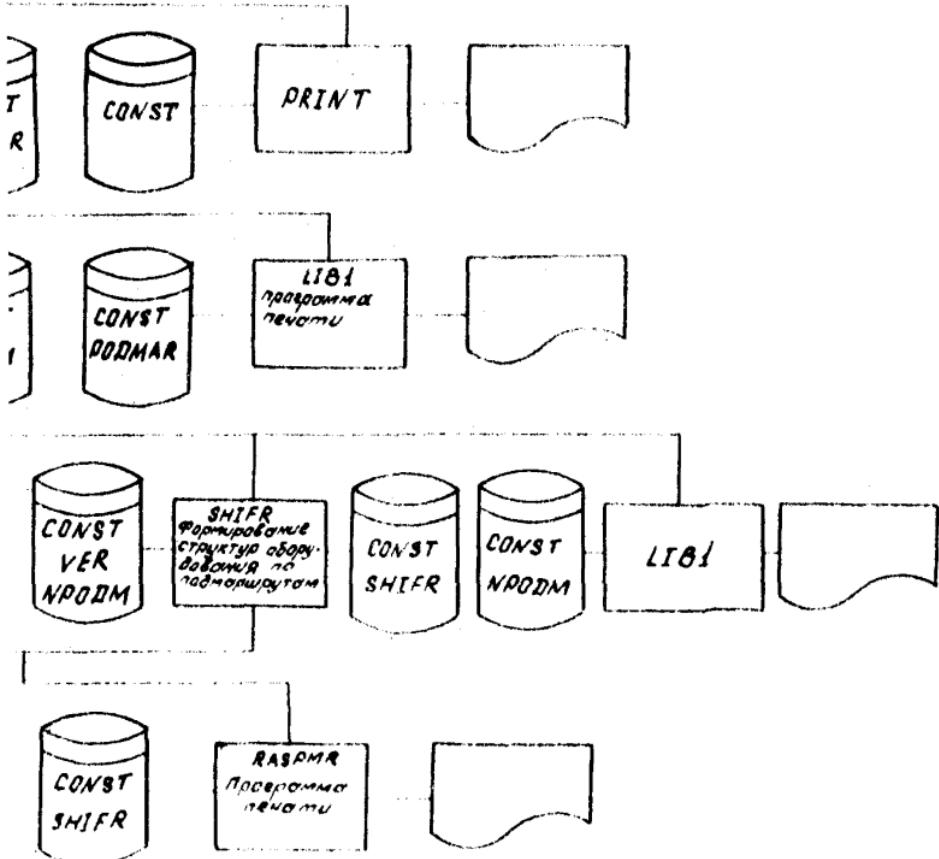


Таблица 4.1

Оптимизационная очередь вариантов работы морозильных 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 - 16 - 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	14,088

$T_{ст.}$ - 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 η опт. параметру надежности системы осуществляется по формуле:

$$\eta_n = \left(1 - \frac{\eta_{PTK}}{\eta_{opt}} \right) \frac{\eta_{opt}}{1 - \eta_{opt}} \quad (4.3)$$

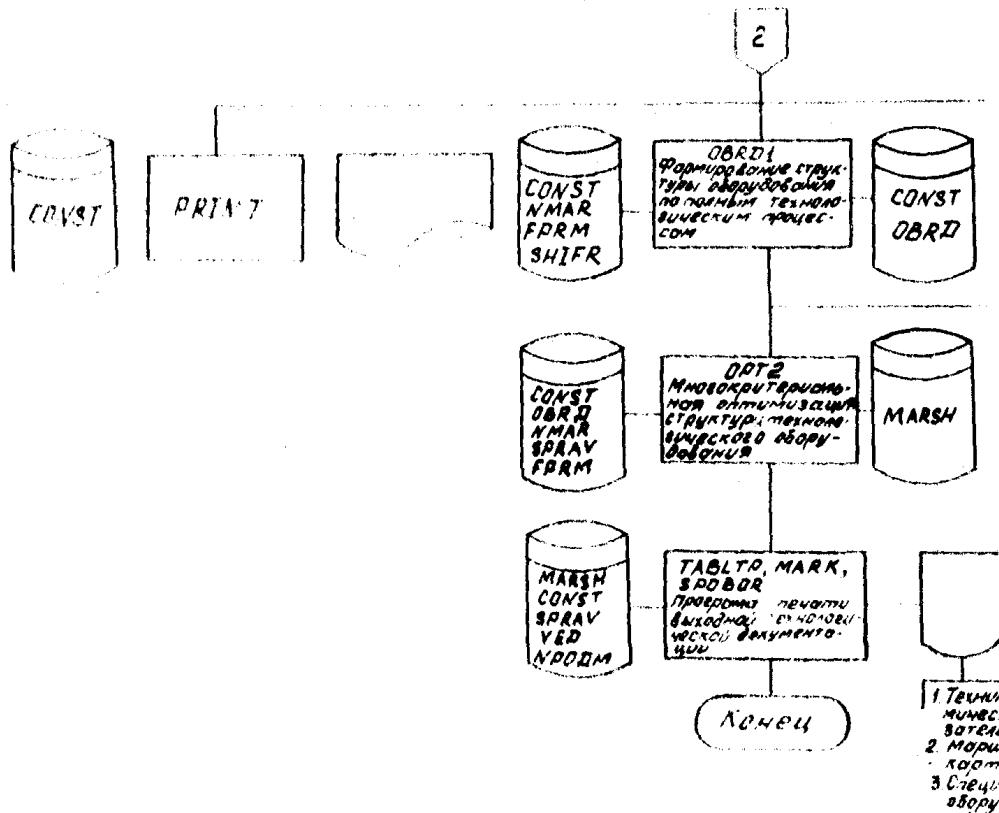
$$\eta = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_c} \quad (4.4)$$

где η_{PTK} - коэффициент технического использования РТК или гибкого производственного модуля на базе РТК (ожидаемая величина);

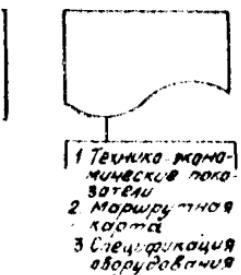
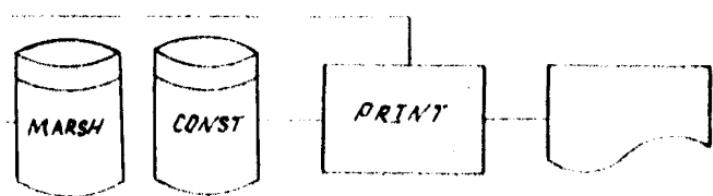
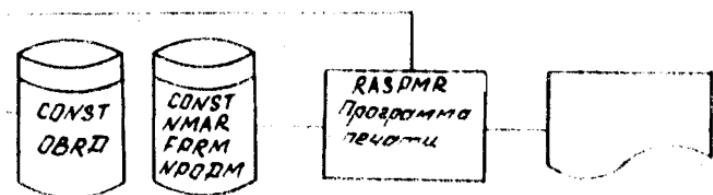
$\eta_{ст}$ - коэффициент технического использования станка; θ_p - время непосредственной работы механизма (станка, РТК, ПМ) за отрезок времени Θ ;

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

Укрупненные расчеты структуры РТК для выбора оптимального роботизированного технологического процесса рекомендуется на последующих стадиях разработки конструктивной 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 РПИ.



Лист 4 из 3. Лист 3



Для этого целесообразно строить модели функционирования РТК в виде многогранного циклического 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 РП

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

расчет потенциального экономического эффекта на стадиях ИМР, 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.

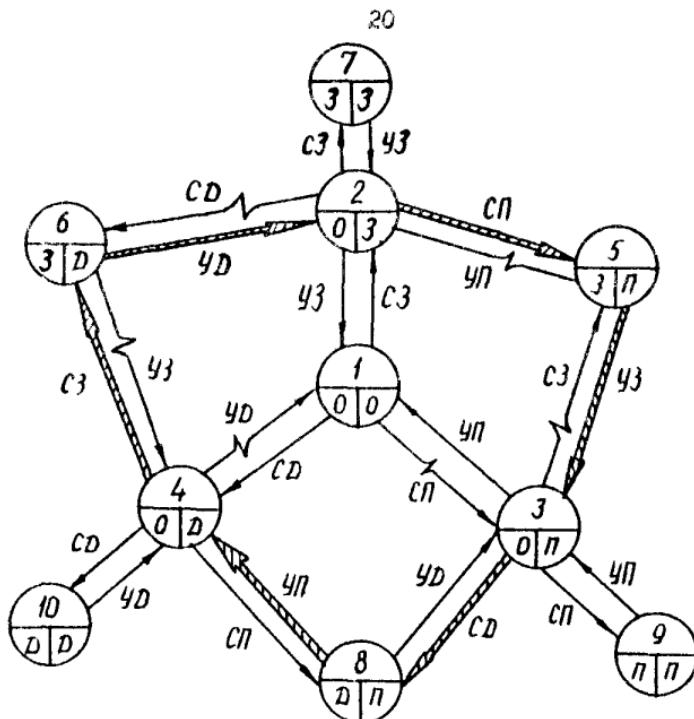
Методологической основой расчета является схема кругооборота капитальных вложений при внедрении роботизированных технологических процессов (черт.1.5).

Расчет экономического эффекта на уровне народного хозяйства производится по формуле:

$$\mathcal{E}_n = \mathcal{E}_{\text{вн}} + \mathcal{E}_r + \mathcal{E}_{\text{соп}} \quad (1.5)$$

где $\mathcal{E}_{\text{вн}}$ – экономический эффект, получаемый в результате снижения текущих затрат;

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

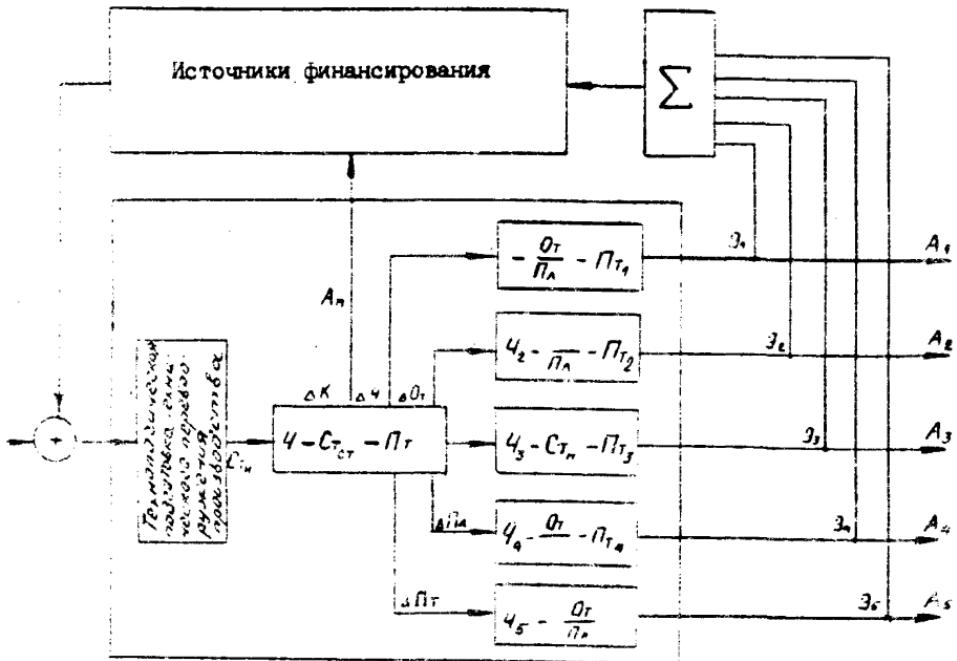


ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- $\begin{array}{|c|c|}\hline A & B \\ \hline B & A \\ \hline\end{array}$ - порядковый номер вершины графа;
- $\begin{array}{|c|c|}\hline B & C \\ \hline C & B \\ \hline\end{array}$ - загрузка рук робота объектами манипулирования;
- \longrightarrow переход, выполняемый промышленным роботом;
- $\overrightarrow{\text{---}}$ оптимальный вариант;
- $\overleftarrow{i u}$ вариант;
- D - деталь;
- P - полуфабрикат;
- Z - заготовка;
- O - схват свободен;
- У - установить;
- С - снять.

Черт. 4.4. Граф цикла функционирования РК (ГЦМ)

Условные обозначения:
 К - капиталовложения;
 Ст - средства труда (н)-новые,
 (ст)-старые;
 Ч - рабочие;
 Пт - предмет труда;
 От - орудия труда;
 Пл - площади;
 А₁ - дополнительный объем вы-
 пуска продукции;
 Э₁ - дополнительная прибыль,
 полученная за счет капита-
 ловложений в реконструк-
 цию и техническое пере-
 вооружение;
 R₁ - внешние источники финан-
 сирования.
 Ам - амортизационные отчисления.



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

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

$$\mathcal{E}_{\text{вн}} = \Delta C \cdot E_H K_2, \quad (4.6)$$

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

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

$$\mathcal{E}_n = K_M C_{\text{зп}} + \sum E_i K_i, \quad (4.7)$$

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.

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

$$\mathcal{E}_{\text{вн}} = \Delta C - \alpha_K \cdot K_2 - \alpha_\phi (K_2 - K_1) - \alpha_q (\Psi_2 - \Psi_1), \quad (4.8)$$

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_q - плата за трудовые ресурсы;

Ψ_1, Ψ_2 - численность работающих до и после внедрения роботизированного технологического процесса с учетом перераспределяемой части.

$$\mathcal{E}_n = \sum_i P_i K_i + \Pi + \alpha_{np} B \alpha q, \quad (4.9)$$

- где R_p – рентабельность расчетная по отношению к общему
средству производства;
- X_j – часть j средств производства, передаваемые
внутри хозяйственного предприятия;
- L – выручка от реализации вынужденных производственных
средств на сторону (ликвидация);
- $\Delta\chi$ – количество работающих, численников и перерас-
пределенных внутри предприятия;
- V – годовая выработка реализованной продукции на од-
ного работающего руб/чел.;
- α_{pr} – норматив прибыли на 1 руб. реализованной проduk-
ции.

Изложенные методические основы технико-экономического обоснования роботизированных технологических процессов в условиях математического моделирования их внедрения реализуются 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 Θ с одного места на другое $\Theta \rightarrow O_1, O_2, \Theta$;

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

срабатывает переход t_1 , заключающийся в перераспре-
делении финансовых ресурсов между надсистемой и подсистемой,
в результате чего в надсистему P_1 и подсистему P_2 поступают
материальные ресурсы K_1 , приобретение в соответствии с
проектом;

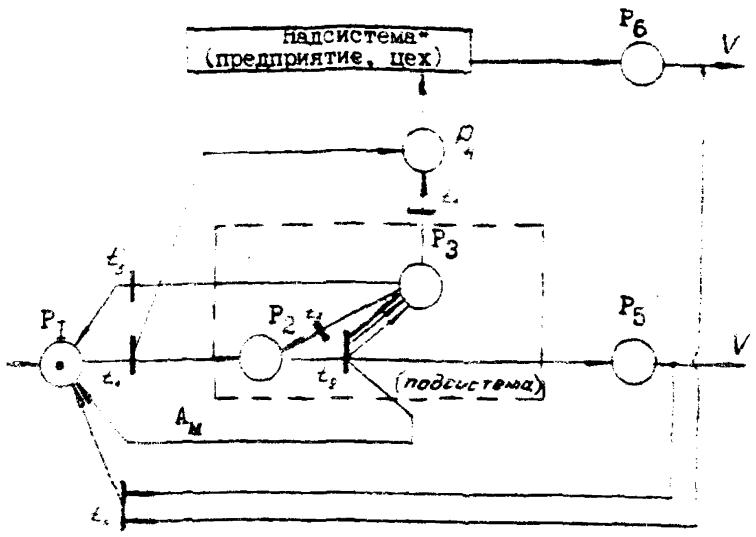
наличие материальных ресурсов P_2 создает условия для их
внедрения. Результатом является высвобождение имеющихся ранее
ресурсов (оборудование, площади, рабочие) P_3 и изменение амор-
тизационных отчислений;

высвобожденные ресурсы P_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 системы, который проявляется в том, что регулируемая величина β_7 станет переменной.

Таким образом, на выходе модели мы имеем процедуру 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_1 , попадающие в подсистему;
- t_2 - событие внедрения R_1 ресурсов в подсистему;
- P_3 - высвобожденные ресурсы ΔR_1 , подлежащие перераспределению;
- t_3 - событие перераспределения части ΔR_1 внутри подсистемы;
- t_4 - событие перераспределения части ΔR_1 в надсистему;
- t_5 - событие реализации части ΔR_1 в виде вторичных ресурсов;
- P_4 - материальные ресурсы, попадающие в надсистему, R_2 ;
- $P_5(V)$ - 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;
- * - надсистема функционирует аналогично подсистеме относительно систем более высокого уровня.

ПРИЛОЖЕНИЯ

I. 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 в условиях их труда, специальным частям проекта, производственным зонам, 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.

Рассмотрение объектов роботизации следует включить в план 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 выборе 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 технологии служб новой техники обследуемых производств	I - 3
Ведущие конструкторы служб новой техники, механизации и автоматизации, конструкторы изготавляемых изделий	I - 3
Специалисты по экономике и организации производства	I - 2
Специалисты по охране труда, технике безопасности, научной организации труда	I

Примечание. Ведущего технолога называют 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 завершить 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 производств

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 указание рабочие места.

На этапе предварительного отбора специалист-эксперт определяет значимость рекомендуемых факторов в комплексе и оценивает 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 работализации. 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, балл f_{te} , специалисты				Средняя оценка значимости фактора \bar{f}_t	Относительная оценка значимости фактора Z_t
	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 производстве субъективных факторов и точного следования установленным технологическим требованиям	10	10	10	10	10	0,135
Необходимость повышения производительности обработки	7	9	8	8	8	0,108

Продолжение табл. II 2.2

Наименование фактора комплексной оценки производств	Оценка значимости фактора, балл					Средняя оценка значимости фактора	Относительная оценка значимости фактора
	специалисти	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	9	0,123
Возможность внедрения средств роботизации с минимальными объемами перепланировок производственных помещений и присоединения дополнительных производственных площадей	6	5	7	9	7	7	0,098
Возможность приобретения роботизированных комплексов или промышленных роботов, которые могут быть использованы для автоматизации данной технологической операции (процесса)	6	8	8	7	7	7	0,084
Наличие кадров, подготовленных для проведения эксплуатации и технического обслуживания роботизированных производств	8	9	8	7	8	8	0,108
Степень поддержки персоналом мероприятий по роботизации производства	6	5	7	5	6	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

$$f_i = \frac{f_{iL}}{\sum f_{iL}}$$

- 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, $i = 1, \dots, L$.

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

$$Z_i = \frac{f_i}{\sum f_i}$$

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 факторе на принятие решения в пользу рационализации f_{iL} , балл				
		Рабочие места	1-е	2-е	3-е	4-е
Необходимость улучшения условий труда рабочих, снижения опасности травматизма и профессиональных заболеваний, 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 фактора комплексной оценки производств	Относительная оценка значимости фактора	Оценка меры влияния фактора на принятие решения в пользу роботизации / в % /				
		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	0,130	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	5	3	4
Возможность приобретения роботизированных комплексов или ЛР, 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	0,081	10	8	7	9	8
Комплексная оценка объекта		6,64	6,57	6,70	6,81	7,03

П р и м е ч а н и я:

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

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

$$R_{ij} = \sum_i (f_{ij} \cdot z_i),$$

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

Предварительный отбор завершает присвоением рангов превосходительности рабочим местам в соответствии с табл. П.2.4 вместе с тем перечня предварительно отобранных объектов подтверждения в соответствии с табл. П.2.5.

Таблица П.2.4

Присвоение рангов превосходительности объектам

Специалист	Комплексная оценка объекта R_{ij} , балл				
	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	6,91	6,46	7,21
Ранг превосходительности объекта	1	2	4	5	3

П р и м е ч а н и я :

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

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

Таблица II.2.5

Перечень предварительно отобранных объектов роботизации

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

Литература

- ГОСТ 23004-78. Нормализация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения.
- РД 50-357-82. Методические указания. Правила выбора объектов роботизации. – М.: Изд-во стандартов, 1983.
- Методические рекомендации МР 53-85. Правила проектирования роботизированных технологических комплексов. – М.: ВНИИМАШ, 1985.
- Методические рекомендации № 040-60-83. Определение экономической эффективности разработки и внедрения автоматизированных технологических комплексов. – М.: НИИмаш, 1983.
- Козловский В.А. Эффективность перечаложаемых роботизированных производств. – Л.: Машиностроение, 1985.

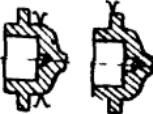
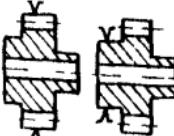
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

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.И.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 общемашиностроения
принципу их захвата промышленных**

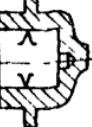
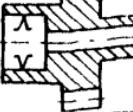
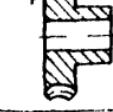
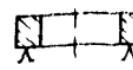
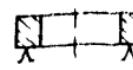
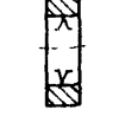
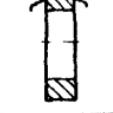
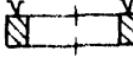
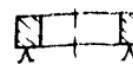
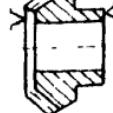
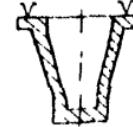
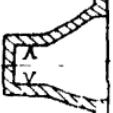
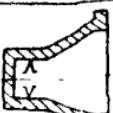
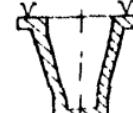
Класс "40" - тела вращения

Метод захвата изделия промышленным гибким телом-рабочим (гирько-теристика группы по РТМ)	Зажим детали за наружную поверхность в одном сечении	Зажим торцовой поверхности в двух сечениях (по одномуковому диаметру)	Зажим за наружную поверхность в двух сечениях (по разным диаметрам)	Зажим внутренней поверхности (в д.р.)
Втулки цилиндрические гладкие, 32-030, сплошные				
40 3000				
Фланцы, диски, крышки (без сквозного и со сквозным отверстием)				
40 4000				
Втулки ступенчатые со сквозным центральным отверстием, в т.ч. зубчатые колеса чугунные ческие, червячные				
42 5000 - 40 6000				
Колодки цилиндрические с $L < \frac{D}{2}$				
45 3000				
Зубчатые колеса конические				
42 7000				
Шестерни с фланцами чугунные по в. из листов, по 22				

Классификация деталей
общемашиностроительного применения

Таблица 1.3.1

Шиностроительного применения по
тому, что изготавливаются
роботами.

по назначению внешних и внутренних параметров	зажим за внутреннюю поверхность (8 разжимов)	зажим за одну торца	зажим по одной поверх- ности (8 зажим- ней)	зажим по одной торце настяли (ниже- ней)	размерная и весовая харак- теристика деталей			
					ширина по торцу настяли мм	высота бокса мм	вес кг	номер р/п
								
								
								
								
								
								
								

Классификация деталей

общем машиностроительного применения, преодолев
работами в составе Р

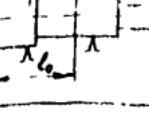
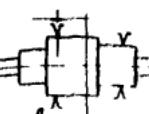
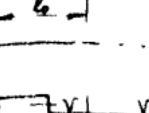
Класс	40	Детали - тела вращения		
Подклассы	Группы	Размерная составляющая	Макс вес, кг	Методы зажима работами
3,5,10, 3,6,10,30,300,3000,30000,300000	Валы ведущие	диам, мм L, мм		
40/1000	Валы ступенчатые односторонние	Д0 50 СВ 30-80 СВ 40-125 СВ 50-160	Д0 500 500-1000 700-1400 1000-1400	Д0 50 Д0 40 Д0 80 Д0 160
40/2000	Валы ступенчатые двухсторонние		1400-2000	Д0 250
40/50000	Зубчатые колеса зоодно с валом, цилиндрические			
40/70000	Зубчатые колеса зоодно с валом, конические			

Таблица II.3.1

детали

чесодных для загрузки промышленных
заводов РТК

Класс 40 детали - тела вращения

Подклассы	Группы	размерная характеристика	макс вес, кг	Методы захвата роботом
000	втулки цилиндрические, плоские, суппорты, стаканы	диам, мм ширина, мм		
00000	шпоничные, диски, крышки без симметричного центра отв.			
00000004	шпоничные, диски симметрические с симметричным центром отв.	Д0 160 Д0 250 Д0 320 Д0 400	Д0 200 Д0 200 Д0 250 Д0 250	Д0 40 Д0 80 Д0 150 Д0 250
00000004	кольца цилиндрические с $\Delta \leq 2\pi$			
00000002	зубчатые котлы цилиндрические			
00000004	зубчатые котлы симметрические			
00000001				

КЛАСС

50

Детали - кроме

Подклассы

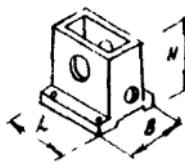
Группы

размерной

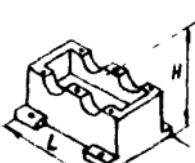
детали

имеющие
базовые от-
верстия
корпуса
механиз-
мов прибор
чных уст-
ройств

(501000)



(501200)



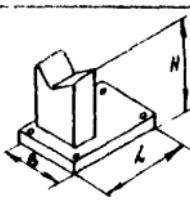
(501600)

0

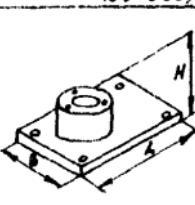
4

коробчатое
изделиене имею-
щие базо-
вых от-
верстий
- опоры,
рамы,
коробки,
крышки

(502000)



(502100)



(502400)

A0300

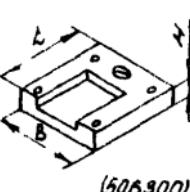
90

A0500

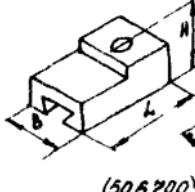
50

пластинич-
ное
изделиеплиты,
планки,
рейки зуб-
чатые,
копиры,
направля-
ющие

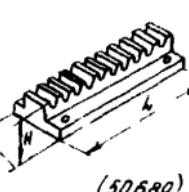
(506000)



(506300)



(506700)



(50680)

A0300

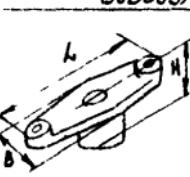
300

A0500

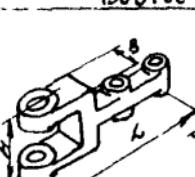
50

фланцевое
изделиедычечи,
шатуны,
стойки,
кронштей-
ны, корпуса
подшипнико-
виков

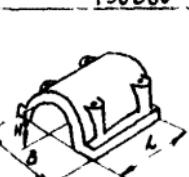
503000



(503100)



(503200)



(503700)

A0800

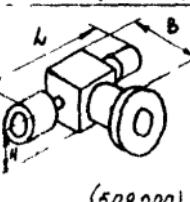
800

A01000

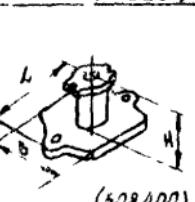
1000

детали
сопряженийкорпуса и
крышки
трубопро-
водной и
сварной
систем
самоту-
рьбы

(508000)



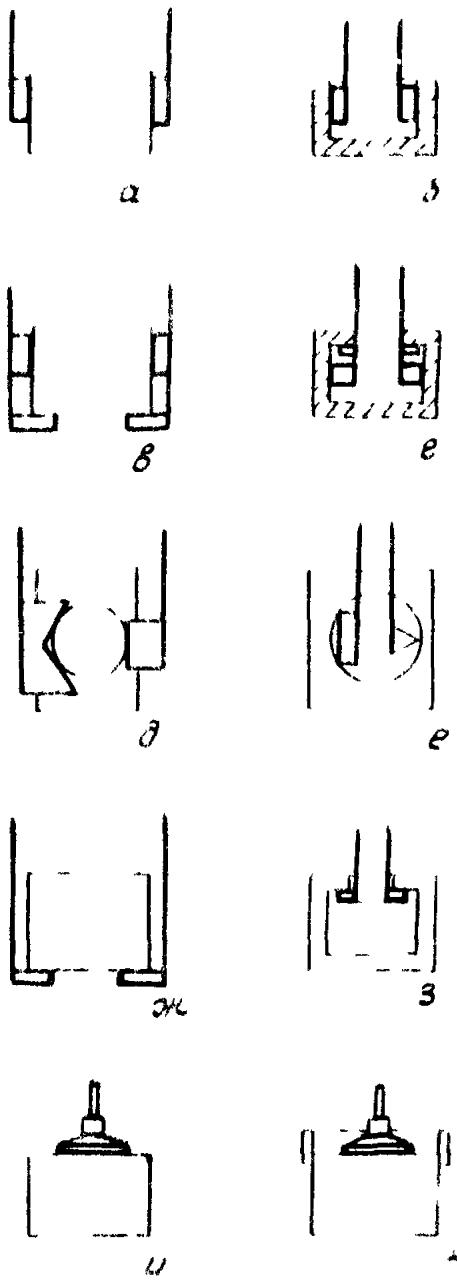
(508200)



(508400)

тепл. вращения

над хор-ко з	масса массы	Методы изъятия	005.0.1.01
300	300	Д040	а, б, в в, е, ж з, у, к
500	500	Д0160	
800	800	Д0250	а, б, в
1000	1000	Д0500	ж, ц, к
300	60	Д020	а, б, в, з, ж, ы, у, к
50	100	Д040	
800	160	Д080	а, в у, к
1000	200	Д0160	
			а, б, в



Содержание	Стр.
1. Основные положения	3
2. Порядок проектирования роботизированных технологических процессов (РП) 3. Основные требования к разработке маршрутных операционных РП	4
4. Автоматизация выбора оптимального варианта транспортно-технологической схемы и проектирования РП 4.1. Метод однокритериальной оптимизации 4.2. Метод многокритериальной оптимизации ... 4.3. Математическое моделирование и оптимизация структуры роботизированных операций	9
4.4. Технико-экономическое обоснование РП ..	19
Приложения:	
1. Пояснения терминов, используемых в рекомендациях	26
2. Правила выбора объектов роботизации	26
3. Классификация деталей общеминистрственного применения	37
Литература	36
Информационные данные	36