



Р.А. Цепенев, И.С. Бойков

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СПОСОБА СВАРКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Учебное пособие

*по курсовому и дипломному проектированию
для студентов специальности 150202 всех форм обучения*

**Тольятти
ТГУ
2009**

Федеральное агентство по образованию
Тольяттинский государственный университет
Автомеханический институт
Кафедра «Оборудование и технология сварочного
производства и пайки»

Р.А. Цепенев, И.С. Бойков

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СПОСОБА СВАРКИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Учебное пособие
по курсовому и дипломному проектированию
для студентов специальности 150202
всех форм обучения

Тольятти
ТГУ
2009

УДК 621.791(075.8)+621.791(033)

ББК 30.61

Ц40

Рецензент:

д. т. н., профессор Тольяттинского государственного
университета *Ю.В. Казаков*.

Ц40 **Цепенев, Р.А.** Оптимизация выбора способа сварки при проектировании технологии изготовления сварной конструкции : учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 150202 всех форм обучения / **Р.А. Цепенев**, И.С. Бойков. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 108 с.

В учебном пособии изложены основы оптимизации как вида деятельности, дана характеристика технологического процесса как объекта оптимизации, приведены материалы для формирования исходного множества вариантов по алгоритму оптимизации технологической операции сварки, систематизированы целевые функции и критерии эффективности для оценки альтернативных решений.

Предназначено для профессорско-преподавательского состава и студентов специальности 150202 всех форм обучения.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие следует рассматривать как начало организуемой на кафедре «Оборудование и технология сварочного производства и пайки» деятельности в области производства «динамической информации», способствующей повышению эффективности инженерных решений, принимаемых студентами при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Вполне обоснованно можно считать, что эффективность инженерного решения будет тем выше, чем ближе решение к оптимальному (или является таковым) и чем меньше времени затрачено на формирование такого решения. «Динамическая информация» является одним из слагаемых, позволяющих обеспечить успех инженерного проектирования.

Понятие «динамическая информация»¹ включает в себя информацию двух видов: «знаю как» и «знаю где».

Информация «знаю как» обозначает сведения об условиях и наилучших путях освоения новых технологических процессов, а также знание параметров имеющихся и новых технологических приемов, систем и агрегатов. Информация «знаю где» предполагает знание источников, позволяющих получить все необходимые сведения для реализации оптимального варианта.

При этом *получение* информации, необходимой для оптимизации инженерных решений, *становится сопоставимым по стоимости с проектными разработками*. Отсюда — важность и актуальность деятельности в направлении сбора и систематизации сведений, позволяющих решать инженерные вопросы проектирования на оптимальном уровне.

Поскольку теория и практика выбора и принятия решений ни в одной из учебных дисциплин специальности «Оборудование и технология сварочного производства» не рассматриваются, в пособии намеренно *дословно* с указанием реквизитов литературных источников приведены фрагменты текстов по общим вопросам методологии принятия оптимальных решений, сведения, характеризующие технологию изготовления сварной конструкции как объект оптимизации, рекомендации и оценки, позволяющие обоснованно выбрать рациональный тип сварного соединения и способ сварки.

Сделана попытка привести определенную часть информации из области сварки к виду, который позволит с минимальными затратами времени реализовать процедуры алгоритма оптимизации выбора

¹ Кузнецов, Б.Г. Наука в 2000 году. — М. : Наука, 1969. — 216 с.

некоторых проектных технологических решений. В частности, процедуру формирования исходного множества альтернатив при выборе типов соединений и способов сварки.

Предполагается, что пособие в дальнейшем будет совершенствоваться по содержанию и развиваться по объему.

Раздел 1

ОПТИМАЛЬНОСТЬ

1.1. Понятия и определения

- ОПТИМАЛЬНЫЙ...** 1. Наиболее благоприятный; наилучший...
2. Наиболее подходящий, соответствующий желаемым условиям.

ОПТИМИЗАЦИЯ... 1. Выбор наилучшего варианта из множества возможных; улучшение какого-либо процесса для достижения его максимальной эффективности. 2. Повышение интенсивности чего-либо в целях достижения высоких результатов [10, с. 457].

ОПТИМИЗАЦИЯ (от лат. *optimus* – наилучший). 1. Процесс выбора наилучшего варианта из возможных. 2. Процесс приведения системы в наилучшее (оптимальное) состояние. 3. Процесс нахождения экстремума функции или выбора наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных. При поиске наилучшей альтернативы обычно используют методы *математического программирования* [9].

Общие сведения об оптимизации

...Применение ЭВМ... позволяет перейти от выработки более или менее хороших решений к выработке наилучших или, как обычно принято говорить, *оптимальных* решений. Процесс выработки таких решений называется *оптимизацией*.

Классическая постановка задачи оптимизации

...В некотором пространстве S тем или иным способом выделяется некоторое непустое множество M точек этого пространства, называемое *допустимым множеством*. Далее фиксируется некоторая вещественная функция $f(x)$, заданная во всех точках x допустимого множества. Она называется *целевой функцией*. Задача оптимизации состоит в том, чтобы найти точку x_0 в множестве M , для которой функция $f(x)$ принимает экстремальное – максимальное или минимальное значение. В первом случае для всех точек x множества M удовлетворяется неравенство $f(x_0) \geq f(x)$, во втором – $f(x_0) \leq f(x)$ » [2].

«...В общем случае принцип оптимальности формулируется следующим образом: определить такие значения искомых технологических параметров и соответствующих им значений регулируемых координат электроприводов, которые обеспечат максимальное (минимальное) или предельно достижимое значение показателя качества процесса металлообработки при соблюдении ограничений по требуемому качеству продукции и технологическим возможностям оборудования» [1, с. 373].

1.2. Теория выбора и принятия решения (фрагменты из литературных источников)

Фрагмент I

Укрупненная схема процесса принятия решения:

1. Получение информации.
2. Анализ информации.
3. Выявление проблемной информации.
4. Формирование целей.
5. Построение модели системы.
6. Разработка перечня альтернатив и их следствий.
7. Прогноз альтернатив и их следствий.
8. Формирование критерия и/или профиля предпочтения.
9. Постановка задачи.
10. Поиск процедур решения задачи.
11. Выбор.
12. Корректировка решения.
13. Реализация решения.

Краткая характеристика этапов принятия плановых решений:

1. Получение информации

Выявление источников информации и путей получения требуемой информации.

2. Анализ информации

Отбор и упорядочение исходной информации, оценка достоверности, выявление ошибок.

Важными функциями анализа являются проверка согласованности сведений, получение производных групп данных.

3. Выявление проблемной информации

Необходимо выявить ту ситуацию, ту совокупность условий, которая порождает рассматриваемую в настоящий момент проблему.

4. Формирование целей

Неправильный выбор цели ведет к неправильной постановке задачи.

Сначала выделяются глобальные задачи, которые затем упорядочиваются по важности.

Глобальные цели и задачи детализируются.

Цели могут быть сформулированы в количественном и качественном виде.

5. Построение модели системы

Для каждого объекта может быть построено несколько моделей в зависимости от его соотнесения к той или иной системе.

6. Разработка перечня альтернатив и их следствий

Обычно ситуации настолько сложны, что описать их можно лишь приближенно, с помощью ряда моделей, которые помогают формировать альтернативы.

Составленный перечень альтернатив анализируется: проверяется их соответствие поставленным ограничениям, оценивается желательность исходов, к которым ведет каждая альтернатива. Это может привести к исключению из рассмотрения некоторых альтернатив.

7. Прогноз альтернатив и их следствий

Прогноз альтернатив и их следствий (исходов) проводится в два этапа:

- 1) оценивается возможность реализации альтернативы;
- 2) оценивается возможность следствий самой альтернативы.

8. Формирование критерия и/или профиля предпочтения

Критерии могут быть частные, совокупные (глобальные). Их выбор – самостоятельная проблема.

9. Постановка задачи

Если в результате проведенной работы сформулировать задачу нельзя, то делается попытка разбить ее на подзадачи, изменить условия и т. п.

Может оказаться, что задача принятия решения не может быть решена известными методами, в этом случае меняются альтернативы.

10. Поиск процедур решения задачи

На этом этапе определяются метод и алгоритм решения задачи.

11. Выбор

11.1. При отсутствии формального метода решения задачи все множество альтернатив «пропускается» через каждый частный критерий (профиль предпочтения). Получают подмножество частных ответов, из которых отбираются лучшие. Затем подмножества частных решений оцениваются по совокупному критерию (профилю предпочтений) и получают решение.

11.2. При наличии формального метода и алгоритма решения задач выбор реализуется по процедурам в п. 10.

12. Корректировка решения

Необходимо учитывать, что стратегия, оптимальная для модели, окажется неприемлемой для системы, поскольку модель не является точным отображением реальных объектов.

Все это может потребовать корректировки решения на основании выявленных противоречий.

13. Реализация решения

Реализация решения включает в себя его содержательную интерпретацию и выбор различных способов осуществления решений [7].

Фрагмент II

1.3. Введение в теорию принятия решений

1.3.1. Введение

Само по себе принятие решения есть *компромисс*. Принимая решения, необходимо взвешивать суждения о ценности, что включает рассмотрение экономических факторов, технической целесообразности и научной необходимости, а также учитывать социальные и чисто человеческие факторы. Принять «правильное» решение – значит выбрать такую альтернативу из числа возможных, в которой с учетом всех этих разнообразных факторов будет оптимизирована общая ценность.

Часто бывает необходимо несколько поступиться одной из характеристик (например, надежностью), с тем чтобы получить выигрыш в другой (например, в затратах). Задачей лица, принимающего решения, является отыскание альтернатив, представляющих собой оптимальный компромисс при учете всех рассматриваемых факторов.

В некоторых случаях оптимальный компромисс можно найти, обращаясь к научным методам принятия решений, т. е. используя математические методы оптимизации, теорию вероятностей, математическую статистику или теорию полезности. В других случаях принятие решений является исключительно сложным вопросом, который носит субъективный характер и предполагает учет неколичественных человеческих факторов и суждений о ценности. Однако наиболее часто при принятии решений производится учет как количественных, так и качественных факторов, которые должны рассматриваться одновременно.

1.3.2. Характеристики процесса принятия решений

Принятие решений является своего рода решением задачи. Каковы же существенные черты процесса принятия решений?

Ситуацию, в которой происходит принятие решений, характеризуют следующие основные черты:

1. *Наличие цели.* Необходимость принятия решений диктуется наличием некоторой цели, которую необходимо достичь: например, выполнить задание, выбрать материал, назначить свидание, выполнить новую работу и т. д. Если же цель не поставлена, то и не возникает необходимости принимать какое-либо решение.

2. *Наличие альтернативных линий поведения.* Решения принимаются в условиях, когда существует более одного способа достижения

цели. Очевидно, что если существует лишь одна линия поведения, то выбора нет и решения принимать не требуется. С различными альтернативами могут быть связаны различные затраты и различные вероятности успеха. Эти затраты и вероятности не всегда могут быть известны. Именно по этим причинам принятие решений часто сопряжено с неясностью и неопределенностью.

3. *Учет существенных факторов.* Решения принимаются в условиях действия большого числа факторов, которые, однако, различны для различных альтернатив. Это факторы экономического, технического, социального, личного и иного характера.

Итак, задача принятия решений возникает в том и только в том случае, когда существует цель, которую нужно достичь, когда возможны различные способы ее достижения и когда имеется большое число факторов, определяющих ценность различных альтернатив или вероятность успеха каждой из них. Теперь рассмотрим более подробно каждую из этих трех характеристик в отдельности применительно к принятию решений при инженерном проектировании.

1.3.3. Цель решений, принимаемых при инженерном проектировании

Внимательное рассмотрение процесса принятия решений с целью его лучшего уяснения приводит к необходимости четкого определения целей и задач. Декан Дартмусского колледжа М. Трайбус удачно описал проектирование технических систем как задачу оптимизации некоторой «функции платежа». Функцией платежа может быть какой-либо один параметр (например, затраты или вес), либо это может быть взвешенная комбинация двух или большего числа параметров. По существу, функция платежа является целью, и поэтому, прежде чем можно будет обоснованно принять окончательное решение, ее необходимо четко определить. Как мы увидим далее, если функции платежа или цели можно дать простое количественное определение, то оказывается возможным применение научных методов принятия решений. Однако нередко цели или во всяком случае непосредственно связанные с ними факторы являются как количественными (объективными), так и качественными (субъективными). В этих случаях для применения научных методов принятия решений нужны зрелость суждений и дальновидность, а также аналитическое и математическое мастерство.

Некоторые из обычных целей принятия решений при инженерном проектировании перечислены ниже, однако этот список нельзя считать исчерпывающим. Следует также помнить, что иногда для достижения поставленной цели требуется установить баланс между двумя или большим числом рассматриваемых факторов, причем в определенных ситуациях некоторые из них будут входить в задачу как

ограничения, а не как компоненты поставленной цели. Это означает, что в таком утверждении, как «вес не должен превышать 20 кг», низкий вес может рассматриваться как цель, а не как ограничение. Более подробно ограничения рассматриваются далее в этой главе. Некоторыми целями при инженерном проектировании являются следующие: начальные затраты, стоимость эксплуатации или обслуживания в течение определенного периода времени, надежность, вес, рабочие характеристики, КПД, внешний вид, безопасность, прибыль в течение определенного периода времени и т. д.

1.3.4. Альтернативы в инженерных решениях

Лица, принимающие решения, часто (к сожалению) не осознают важности составления списка альтернатив. Совершенно очевидно, что в конечном счете может быть выбрана не самая лучшая альтернатива из числа рассматриваемых. В этом смысле качество выбора ограничено качеством альтернатив. Исчерпывающий список имеющихся альтернатив оказывает большую помощь при принятии решений. Принятие решений есть выбор одной из альтернатив, и составление их списка является неотъемлемой частью этого процесса.

В некотором смысле составление списка альтернатив совершенно аналогично определению задачи при инженерном анализе. Когда альтернативы неопределенны, список их неполон или даже непродуман, принять решение невозможно. Однако когда альтернативы четко перечислены, задача больше не является неосязаемой. Теперь мы уже имеем совершенно конкретную задачу выбора одной из перечисленных альтернатив.

1.3.5. Факторы, рассматриваемые при принятии инженерных решений

В любой задаче принятия инженерных решений, по существу, можно выявить бесконечное множество факторов. Любая попытка составить их полный перечень или подробно их анализировать сопряжена с опасностью опустить некоторые реальные и важные факторы. Различные факторы, подлежащие рассмотрению, можно разделить на три группы и затем привести примеры самого общего характера. Основными группами факторов являются: факторы, связанные с *ресурсами*, *технические факторы* и *чисто человеческие факторы*.

Под факторами, связанными с ресурсами, понимают *время*, *денежные средства* и *производственные возможности*. Под производственными возможностями здесь подразумеваются такие разнообразные вещи, как наличие материалов, деталей, техническое и научное мастерство, организационные возможности и т. д. Данные, приведенные в табл. 11.1, содержат более конкретную информацию о том, что

подразумевается под факторами, которые относятся к группе ресурсов. Для инженерных решений характерно, что без специального изучения или исследования информация о существенных сторонах таких факторов может оказаться недостаточно полной.

К техническим факторам относятся факторы, которые непосредственно связаны с инженерным анализом или выработкой требований к конструкции.

Таблица 11.1

Ресурсы, учитываемые при принятии инженерных решений

<p>1. <i>Финансы</i></p> <p>Каковы будут затраты и прибыль? Какую сумму нужно получить в виде краткосрочного займа и какую – в виде долгосрочного? Имеются ли эти средства? Для каких других проектов необходимы средства? Каковы перспективы данной отрасли промышленности, фирмы и отдела? Каковы конкурентные возможности?</p> <p>2. <i>Оборудование и помещения для проведения научно-исследовательских и проектных работ и средства производства</i></p> <p>Какое оборудование, помещения и средства производства необходимы? Что имеется? Сколько времени потребуется, чтобы достать его, и во что это обойдется?</p> <p>3. <i>Специалисты для научно-исследовательской работы, проектирования и производства</i></p> <p>Какие специалисты нужны? Какие имеются? Сколько времени потребуется, чтобы найти их, и во что это обойдется?</p> <p>4. <i>Исходные материалы</i></p> <p>Имеются ли в наличии необходимые материалы? Какова их стоимость?</p> <p>5. <i>Организация научно-исследовательских работ, проектирования производства и сбыта</i></p> <p>Какие вспомогательные организации (административно-хозяйственный отдел, юридический отдел, отделы обслуживания, сбыта и рекламы и т. д.) необходимы?</p> <p>Какие организации имеются? Если их нет, сколько времени потребуется для их создания и во что это обойдется?</p> <p>6. <i>Ресурсы, связанные с принятием решений</i></p> <p>Во что обойдется принятие решения? Сколько времени оно займет? Имеются ли специалисты, оборудование и т. д.</p>
--

Обычно технические факторы являются конкретными и выражаются количественно. Список таких факторов приведен в табл. 11.2.

**Технические факторы,
учитываемые при принятии инженерных решений**

1. Геометрические факторы – габариты и форма.
2. Вес – общий и отдельных элементов.
3. Прочность – какое звено является слабым?
4. Динамика – колебания, частота собственных колебаний.
5. Первый закон термодинамики.
6. Второй закон термодинамики.
7. Электрические эффекты.
8. Магнитные эффекты.
9. Коррозия.
10. Усталость – тепловая или вызываемая напряжением.
11. Ползучесть.
12. Теплопередача – теплопроводностью, конвекцией, излучением.
13. Температурные эффекты.
14. Эффекты, связанные с потоком жидкости, – гидродинамическое сопротивление, трение, расход.
15. Количество движения.
16. Износ – смазка.
17. Энергия – источник, мощность.
18. Инерция.
19. Другие факторы

Эти технические факторы часто определяют один из трех видов ограничений: функциональные, областные и экстремальные. Функциональным ограничением является точное задание рабочих характеристик, входных параметров или других ограничений. Функциональные ограничения всегда выражаются в виде равенства: например, «длина должна быть равна 12 см» или «расход должен составлять 60 л/мин».

Областные ограничения отличаются от функциональных лишь тем, что они выражаются неравенствами. Примерами областных ограничений являются: «длина должна быть меньше 12 см» или «расход должен быть больше 60 л/мин».

Экстремальные ограничения требуют, чтобы некоторый параметр был как можно больше или как можно меньше. Они требуют, чтобы рассматриваемый параметр в определенном направлении имел наибольшее или оптимальное значение. Очевидно, что экстремальные ограничения приводят к проблемам оптимизации. Примерами экстремальных ограничений являются следующие: «длина должна быть как можно меньше» или «расход должен быть как можно больше».

**Чисто человеческие факторы,
оказывающие влияние при принятии инженерных решений**

1. *Этика*
2. *Мнения различных лиц о выбранной вами альтернативе. (Можете ли вы «подать» ее вашему начальнику, коллегам, подчиненным, клиентам, техническому персоналу и т. д.?)*
3. *Сопrotивление переменам, боязнь нового и привычка к старому (у начальника, коллег, подчиненных, клиентов и т. д.).*
4. *Эстетические факторы*
5. *Престиж и общественное положение*
6. *Личные привязанности, вкусы и предубеждения (собственные, фирмы, общества, начальника, коллег, технического персонала и т. д.)*
7. *Ваши отношения с женой, ваше самочувствие, болезнь вашего сына, болезнь сына вашего начальника и т. д. и т. п.*
8. *Сострадание, любовь, ненависть, страх и т. д.*
9. *Другие факторы*

Кроме ресурсов и технических факторов в ходе принятия инженерных решений важную роль играют чисто человеческие факторы. Эти факторы выражают не только требования политической или социальной целесообразности осуществления или достижения альтернативы, но и требования человеческой этики и морали. Для принятия правильного решения требуется не только техническая компетентность в оценке ресурсов и технических факторов, но и учет чисто человеческих факторов. В табл. 11.3 дается более полный список чисто человеческих факторов, оказывающих влияние на многие решения.

1.3.7. Рациональный порядок принятия решений

Ранее в этой главе уже говорилось, что в процессе принятия решений предполагается наличие цели, ряда альтернатив и ряда факторов, которые должны рассматриваться, и, возможно, некоторой неопределенности относительно возможных последствий различных альтернатив. В предыдущем разделе были кратко описаны некоторые известные методы принятия решений: теория оптимизации, математическая статистика, теория вероятностей и теория полезности. Однако в большинстве случаев между формулировкой задачи принятия решений и применимостью одного из названных научных методов существует большой разрыв. Другими словами, принятие решений в значительной мере является «искусством». Прежде чем задача принятия решений примет форму, поддающуюся анализу одним из научных методов, необходимо рассмотреть большое число факторов и исключить многие

альтернативы. До этого решения можно принять лишь субъективно либо путем угадывания. Важно как можно полнее уяснить обстоятельства, в которых происходит принятие решений. Для этой цели здесь кратко излагается методика преобразования ситуации принятия решений к такому виду, когда становится возможным применение одного из разнообразных научных методов:

1. Формулируется цель.
2. Составляется возможно более полный список альтернатив. Здесь необходимы творческий подход и изобретательность.
3. Составляется возможно более полный перечень факторов. (Здесь могут помочь контрольные списки, например, такие, как в табл. 11.1–11.3.)
4. Список рассматриваемых факторов используется для уменьшения числа альтернатив, при этом обращается внимание на причину исключения каждой альтернативы. На данном этапе можно увидеть, что многие альтернативы нереальны. Другие альтернативы могут оказаться в высшей степени нецелесообразными. Этот процесс может быть крайне субъективным, и в некоторых случаях он строится на догадках. Однако если нужно принять решение, то другого выбора нет. В построении этих субъективных догадок и вынесении суждений о ценности как раз и проявляется искусство лица, принимающего решение. Следует помнить, что одной из альтернатив может быть альтернатива вообще не принимать никакого решения в данный момент, пока один из факторов (например, время) не исключит эту альтернативу из списка.
5. Оставшиеся альтернативы используются для сокращения списка факторов, часть которых теперь уже можно не рассматривать. Другие факторы могут в одинаковой степени относиться ко всем оставшимся альтернативам, и поэтому их тоже не нужно больше рассматривать.
6. После выполнения перечисленных выше шагов получим один из следующих вариантов.
 - а) Если *больше не осталось альтернатив*, нужно приложить больше творческих усилий для составления нового списка альтернатив.
 - б) Если исключены *все факторы, влияющие на выбор альтернатив*, следует воспользоваться случайным выбором, чтобы остановиться на одной альтернативе из числа оставшихся.
 - в) Если *осталась только одна альтернатива*, то решение будет принято совершенно субъективно. Если вас это устраивает, прекрасно. Если же нет, то вернитесь немного назад, но не будьте столь придирчивы к тем альтернативам, которые ранее показались вам неприемлемыми.
 - г) Если *останется только один фактор*, влияющий на выбор, то обычно не представляет труда отыскать наилучшую альтернативу.

Если факторы исключались осторожно, то можно считать, что решение принято.

д) Если позволяют условия, можно использовать описанные выше научные методы принятия решений, которые более подробно рассматриваются в нескольких последующих главах.

е) Если ситуация остается все еще слишком сложной и возможен лишь субъективный подход, а применение научных методов принятия решений невозможно, то необходимо вернуться к выполнению п. 2, стараясь четко представить себе причины исключения различных альтернатив. Такой перечень причин может служить превосходным списком слабых сторон отдельного лица, фирмы или отдела...

При инженерном проектировании необходимо принимать *много* решений. В некоторых случаях инженеру нужно уметь принимать решения в условиях неопределенности и затем продолжать движение дальше. Вопрос о том, сколько времени нужно отводить на анализ альтернатив, в значительной мере является искусством. Кроме того, приходится решать вопрос о том, стоит ли придерживаться однажды принятого решения или необходим его пересмотр. Ответы на эти вопросы, в свою очередь, связаны с принятием определенных решений, однако в настоящее время они в значительной мере определяются вкусом, склонностями и личными качествами. Однако в определенной мере ваш успех как инженера зависит именно от этого [5].

Фрагмент III

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель этой книги – изложить в популярной и доступной широкому кругу читателей форме задачи, методологические принципы и рабочие приемы науки «Исследование операций», приобретающей в последние годы все более обширное поле приложений. Эта наука принадлежит к числу сравнительно молодых, недавно сформировавшихся дисциплин; ее границы и содержание нельзя считать четко определенными. Предмет под названием «Исследование операций» входит в программу многих высших учебных заведений, но далеко не всегда в это понятие вкладывается одно и то же содержание. Некоторые авторы под исследованием операций понимают главным образом математические методы оптимизации, такие как линейное, нелинейное, динамическое программирование. Другие, напротив, не включают эти разделы математики в исследование операций, подходя к последнему главным образом с позиций теории игр и статистических решений. Некоторые склонны вообще отрицать существование «исследования операций»

как самостоятельной научной дисциплины, включая ее в состав кибернетики (термин тоже недостаточно определенный, разными людьми понимаемый по-разному). Другие, наоборот, вкладывают в понятие «исследование операций» чрезмерно широкий смысл, провозглашая эту дисциплину чуть ли не «наукой наук». Время покажет, в каких формах будет продолжать свое развитие эта сравнительно молодая наука, какие разделы, обычно излагаемые в ее составе, сохранятся в ней, а какие «отпочкуются» в виде самостоятельных научных дисциплин. В частности, не до конца ясно будущее соотношение между «исследованием операций» и «теорией систем» (или «теорией сложных систем»), о которой много говорят и пишут в последнее время.

Глава 1

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ

§ 1. Что такое исследование операций и чем оно занимается

В наше время, которое по справедливости называют эпохой научно-технической революции, наука уделяет все большее внимание вопросам организации и управления. Причин этому много. Быстрое развитие и усложнение техники, небывалое расширение масштабов проводимых мероприятий и спектра их возможных последствий, внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) во все области практики — все это приводит к необходимости анализа сложных целенаправленных процессов под углом зрения их структуры и организации. От науки требуются рекомендации по оптимальному (разумному) управлению такими процессами. Прошли времена, когда правильное, эффективное управление находилось организаторами «на ощупь, методом проб и ошибок». Сегодня для выработки такого управления требуется научный подход — слишком велики потери, связанные с ошибками.

Потребности практики вызвали к жизни специальные научные методы, которые удобно объединять под названием «исследование операций». Под этим термином мы будем понимать *применение математических, количественных методов для обоснования решений во всех областях целенаправленной человеческой деятельности.*

Поясним, что понимается под «решением». Пусть предпринимается какое-то мероприятие, направленное к достижению определенной цели. У лица (или группы лиц), организующего мероприятие, всегда имеется какая-то свобода выбора: оно может организовать его тем или другим способом, например выбрать образцы техники, которые будут применены, так или иначе распределить имеющиеся средства и т. д.

«Решение» – это и есть какой-то выбор из ряда возможностей, имеющихся у организатора. Решения бывают плохими и хорошими, продуманными и скороспелыми, обоснованными и произвольными...

Исследование операций начинается тогда, когда для обоснования решений применяется тот или другой математический аппарат. До поры до времени решения в любой области практики принимаются без специальных математических расчетов, просто на основе опыта и здравого смысла.

Чем сложнее, дороже, масштабнее планируемое мероприятие, тем менее допустимы в нем «волевые» решения и тем важнее становятся научные методы, позволяющие заранее оценить последствия каждого решения, заранее отбросить недопустимые варианты и рекомендовать наиболее удачные; установить, достаточно ли имеющейся у нас информации для правильного выбора решения, и если нет – какую информацию нужно получить дополнительно. Слишком опасно в таких случаях опираться на свою интуицию, на «опыт и здравый смысл». В нашу эпоху научно-технической революции техника и технология меняются настолько быстро, что «опыт» просто не успевает накапливаться. К тому же часто речь идет о мероприятиях уникальных, проводимых впервые. «Опыт» в этом случае молчит, а «здравый смысл» легко может обмануть, если не опираться на расчет. Такими расчетами, облегчающими людям принятие решений, и занимается исследование операций...

§ 2. Основные понятия и принципы исследования операций

Операцией называется всякое мероприятие (система действий), объединенное единым замыслом и направленное к достижению какой-то цели...

Операция есть всегда **управляемое** мероприятие, т. е. от нас зависит, каким способом выбрать некоторые параметры, характеризующие ее организацию. «Организация» здесь понимается в широком смысле слова, включая набор технических средств, применяемых в операции.

Всякий определенный выбор зависящих от нас параметров называется **решением**. Решения могут быть удачными и неудачными, разумными и неразумными. **Оптимальными** называются решения, по тем или другим признакам предпочтительные перед другими. Цель исследования операций – предварительное количественное обоснование оптимальных решений. Иногда (относительно редко) в результате исследования удается указать одно-единственное строго оптимальное решение, гораздо чаще – выделить область практически равноценных оптимальных (разумных) решений, в пределах которой может быть сделан окончательный выбор.

Заметим, что само **принятие решения** выходит за рамки исследования операций и относится к компетенции ответственного лица, чаще — группы лиц, которым предоставлено право окончательного выбора и на которых возложена ответственность за этот выбор. Делая выбор, они могут учитывать, наряду с рекомендациями, вытекающими из математического расчета, еще ряд соображений (количественного и качественного характера), которые этим расчетом не были учтены...

Те параметры, совокупность которых образует решение, называются **элементами** решения. В качестве элементов решения могут фигурировать различные числа, векторы, функции, физические признаки и т. д. Например, если составляется план перевозок однородных грузов из пунктов отправления A_1, A_2, \dots, A_m в пункты назначения B_1, B_2, \dots, B_n , то элементами решения будут числа x_{ij} , показывающие, какое количество груза будет отправлено из i -го пункта отправления A_i , в j -й пункт назначения B_j . Совокупность чисел $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}, \dots, x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}$ образует решение.

В простейших задачах исследования операций количество элементов решения может быть сравнительно невелико. Но в большинстве задач, имеющих практическое значение, число элементов решения очень велико... Для упрощения мы будем всю совокупность элементов решения обозначать одной буквой x и говорить «решение x ».

Кроме элементов решения, которыми мы в каких-то пределах можем распоряжаться, в любой задаче исследования операций имеются еще и заданные, «дисциплинирующие» условия, которые фиксированы с самого начала и нарушены быть не могут (например, грузоподъемность машины; размер планового задания; весовые характеристики оборудования и т. п.). В частности, к таким условиям относятся средства (материальные, технические, людские), которыми мы вправе распоряжаться, и иные ограничения, налагаемые на решение. В своей совокупности они формируют так называемое «множество возможных решений».

Обозначим это множество опять-таки одной буквой X , а тот факт, что решение x принадлежит этому множеству, будем записывать в виде формулы: $x \in X$ (читается: элемент x входит в множество X).

Речь идет о том, чтобы в множестве возможных решений X выделить те решения x (иногда — одно, а чаще — целую область решений), которые с той или другой точки зрения эффективнее (удачнее, предпочтительнее) других. Чтобы сравнивать между собой по эффективности разные решения, нужно иметь какой-то количественный критерий, так называемый показатель эффективности (его часто называют «целевой функцией»). Этот показатель выбирается так, чтобы он отражал целевую направленность операции. «Лучшим» будет

считаться то решение, которое в максимальной степени способствует достижению поставленной цели. Чтобы выбрать, «назвать по имени» показатель эффективности W , нужно прежде всего спросить себя: *чего мы хотим*, к чему стремимся, предпринимая операцию? Выбирая решение, мы, естественно, предпочтем такое, которое обращает показатель эффективности W в максимум (или же в минимум). Например, доход от операции хотелось бы обратить в максимум; если же показателем эффективности являются затраты, их желательно обратить в минимум. Если показатель эффективности желательно максимизировать, мы это будем записывать в виде $W \rightarrow \max$, а если минимизировать — $W \rightarrow \min$.

Очень часто выполнение операции сопровождается действием случайных факторов (капризы погоды, колебания спроса и предложения, отказы технических устройств и т. д.). В таких случаях обычно в качестве показателя эффективности берется не сама величина, которую хотелось бы максимизировать (минимизировать), а ее среднее значение (математическое ожидание).

В некоторых случаях бывает, что операция, сопровождаемая случайными факторами, преследует какую-то вполне определенную цель A , которая может быть только достигнута полностью или совсем не достигнута (схема «да — нет»), и никакие промежуточные результаты нас не интересуют. Тогда в качестве показателя эффективности выбирается вероятность достижения этой цели $P(A)$. Например, если ведется стрельба по какому-то объекту с непременным условием уничтожить его, то показателем эффективности будет вероятность уничтожения объекта.

Неправильный выбор показателя эффективности очень опасен. Операции, организованные под углом зрения неудачно выбранного критерия, могут привести к неоправданным затратам и потерям...

К сожалению, в большинстве задач, имеющих практическое значение, выбор показателя эффективности непрост и решается неоднозначно. Для сколько-нибудь сложной задачи типично положение, когда эффективность операции не может быть исчерпывающим образом охарактеризована одним-единственным числом — на помощь ему приходится привлекать другие...

§ 3. Математические модели операций

Для применения количественных методов исследования в любой области всегда требуется какая-то математическая модель. При построении модели реальное явление (в нашем случае — операция) неизбежно упрощается, схематизируется, и эта схема («макет» явления) описывается с помощью того или другого математического аппарата. Чем удачнее будет подобрана математическая модель, чем лучше она

будет отражать характерные черты явления, тем успешнее будет исследование и полезнее — вытекающие из него рекомендации.

Общих способов построения математических моделей не существует. В каждом конкретном случае модель выбирается исходя из вида операции, ее целевой направленности, с учетом задачи исследования (какие параметры требуется определить и влияние каких факторов отразить). Необходимо также в каждом конкретном случае соразмерять точность и подробность модели: а) с той точностью, с которой нам нужно знать решение, и б) с той информацией, которой мы располагаем или можем приобрести. Если исходные данные, нужные для расчетов, известны неточно, то, очевидно нет смысла входить в тонкости, строить очень подробную модель и тратить время (свое и машинное) на тонкую и точную оптимизацию решения. К сожалению, этим принципом часто пренебрегают и выбирают для описания явлений слишком подробные модели.

Математическая модель должна отражать важнейшие черты явления, все существенные факторы, от которых в основном зависит успех операции. Вместе с тем модель должна быть по возможности простой, не «засоренной» массой мелких, второстепенных факторов: их учет усложняет математический анализ и делает труднообозримыми результаты исследования. Две опасности всегда подстерегают составителя модели: первая — увязнуть в подробностях («из-за деревьев не увидеть леса») и вторая — слишком огрубить явление («выплеснуть вместе с водой и ребенка»). Искусство построить математические модели есть именно **искусство**, и опыт в нем приобретается постепенно.

Поскольку математическая модель не вытекает с непреложностью из описания задачи, всегда полезно не верить слепо ни одной модели, а сличать результаты, полученные по разным моделям, устраивать как бы «спор моделей». При этом одну и ту же задачу решают не один раз, а несколько, пользуясь разной системой допущений, разным аппаратом, разными моделями. Если научные выводы от модели к модели меняются мало — это серьезный аргумент в пользу объективности исследования. Если они существенно расходятся, надо пересмотреть концепции, положенные в основу различных моделей, посмотреть, какая из них более адекватна действительности, в случае надобности — поставить контрольный эксперимент. Характерным для исследования операций является также повторное обращение к модели (после того, как первый тур расчетов уже проведен) для внесения в модель коррективов.

Создание математической модели — самая важная и ответственная часть исследования, требующая глубокого знания не столько математики, сколько существа моделируемых явлений.

Как правило, «чистые» математики (без помощи специалистов в той области, к которой относится задача) с построением модели справляются плохо...

Глава 2

РАЗНОВИДНОСТИ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ И ПОДХОДОВ К ИХ РЕШЕНИЮ

§ 4. Прямые и обратные задачи исследования операций. Детерминированные задачи

Задачи исследования операций делятся на две категории: а) прямые и б) обратные. Прямые задачи отвечают на вопрос: что будет, если в заданных условиях мы примем какое-то решение x , $x \in X$? В частности, чему будет равен при данном решении x , выбранный показатель эффективности W (или же ряд таких показателей)?

Для решения такой задачи строится математическая модель, позволяющая выразить один или несколько показателей эффективности через заданные условия и элементы решения.

Обратные задачи отвечают на вопрос: как выбрать решение x для того, чтобы показатель эффективности W обратился в максимум?

Естественно, прямые задачи проще обратных. Очевидно также, что для решения обратной задачи прежде всего надо уметь решать прямую. Для некоторых типов операций прямая задача решается настолько просто, что ею специально не занимаются. Для других типов операций построение математических моделей и вычисление показателя (показателей) эффективности само по себе далеко не тривиально (так, например, обстоит дело с прямыми задачами теории массового обслуживания...).

Остановимся несколько подробнее на обратных задачах. Если число возможных вариантов решения, образующих множество X , невелико, то можно попросту вычислить величину W для каждого из них, сравнить между собой полученные значения и непосредственно указать один или несколько оптимальных вариантов, для которых W достигает максимума. Такой способ нахождения оптимального решения называется «простым перебором». Однако когда число возможных вариантов решения, образующих множество X , велико, поиск среди них оптимального «вслепую», простым перебором, затруднителен, а зачастую практически невозможен. В этих случаях применяются методы «направленного перебора», обладающие той общей особенностью, что оптимальное решение находится рядом последовательных «попыток» или «приближений», из которых каждое последующее приближает нас к искомому оптимальному...

Сейчас мы ограничимся постановкой задачи оптимизации решения (обратной задачи исследования операций) в самой общей форме.

Пусть имеется некоторая операция Q , на успех которой мы можем в какой-то мере влиять, выбирая тем или другим способом решение x

(напомним, что x — не число, а целая группа параметров). Пусть эффективность операции характеризуется одним показателем $W \rightarrow \max$.

Возьмем самый простой, так называемый «детерминированный» случай, когда все условия операции полностью известны заранее, т. е. не содержат неопределенности. Тогда все факторы, от которых зависит успех операции, делятся на две группы:

- 1) заданные, заранее известные факторы (условия выполнения операции), которые мы для краткости обозначим одной буквой α ;
- 2) зависящие от нас элементы решения, образующие в своей совокупности решение x .

Заметим, что первая группа факторов содержит, в частности, и ограничения, налагаемые на решение, т. е. определяет область возможных решений X .

Показатель эффективности W зависит от обеих групп факторов. Это мы запишем в виде формулы

$$W = W(\alpha, x) \quad (4.1)$$

При рассмотрении формулы (4.1) не надо забывать, что как x , так и α в общем случае — не числа, а совокупности чисел (векторы), функции и т. д. В числе заданных условий α обычно присутствуют ограничения, налагаемые на элементы решения, имеющие вид равенств или неравенств.

Будем считать, что вид зависимости (4.1) нам известен, т. е. прямая задача решена. Тогда обратная задача формулируется следующим образом.

При заданном комплексе условий α найти такое решение $x = x^$, которое обращает показатель эффективности W в максимум.*

Этот максимум мы обозначим:

$$W^* = \max_{x \in X} \{W(\alpha, x)\} \quad (4.2)$$

Формула (4.2) читается так: W^* есть максимальное значение $W(\alpha, x)$, взятое по всем решениям, входящим в множество возможных решений X .

Итак, перед нами типичная математическая задача нахождения максимума функции или функционала.

Эта задача принадлежит к классу так называемых «вариационных задач», хорошо разработанных в математике. Самые простые из таких задач («задачи на максимум и минимум») знакомы каждому инженеру. Чтобы найти максимум или минимум (короче, «экстремум») функции многих аргументов, надо продифференцировать ее по всем аргументам (в данном случае — элементам решения), приравнять производные нулю и решить полученную систему уравнений. Казалось

бы, чего проще? А вот этот классический метод как раз в исследовании операций имеет весьма ограниченное применение. Во-первых, когда аргументов много, задача решения системы уравнений зачастую оказывается не проще, а сложнее, чем непосредственный поиск экстремума. Во-вторых, когда на элементы решения наложены ограничения, экстремум часто достигается не в точке, где производные равны нулю (такой точки может вообще не быть), а где-то на границе области X . Возникают все специфические трудности так называемой «многомерной вариационной задачи при ограничениях», иной раз непосильной по своей сложности даже для современных ЭВМ. Кроме того, в некоторых задачах функция W вообще не имеет производных (например, задана только для целочисленных значений аргументов). Все это делает задачу поиска экстремума далеко не такой простой, как она кажется с первого взгляда.

Метод поиска экстремума и связанного с ним оптимального решения x^* должен всегда выбираться исходя из особенностей функции W и вида ограничений, накладываемых на решение. Например, если функция W линейно зависит от элементов решения x_1, x_2, \dots , а ограничения, налагаемые на x_1, x_2, \dots , имеют вид линейных равенств или неравенств, возникает ставшая классической **задача линейного программирования**, которая решается сравнительно простыми, а главное, стандартными методами.

Таким образом, задача нахождения оптимального решения в простейшем, детерминированном случае есть чисто математическая задача, принадлежащая к классу вариационных (при отсутствии или наличии ограничений), которая может представить вычислительные, но не принципиальные трудности. Не так обстоит дело в случае, когда задача содержит элемент неопределенности.

§ 5. Проблема выбора решения в условиях неопределенности

В предыдущем параграфе мы рассмотрели обратную задачу исследования операций в детерминированном случае, когда показатель эффективности W зависит от двух групп факторов: заданных, заранее известных α и элементов решения x . Реальные задачи исследования операций чаще всего содержат помимо этих двух групп еще одну – неизвестные факторы, которые в совокупности мы обозначим одной буквой ξ . Итак, показатель эффективности W зависит от всех трех групп факторов:

$$W = W(\alpha, x, \xi). \quad (5.1)$$

Так как величина W зависит от неизвестных факторов ξ , то даже при заданных α и x она уже не может быть вычислена, остается

неопределенной. Задача поиска оптимального решения тоже теряет определенность. Ведь не можем же мы максимизировать неизвестную величину W ! И все-таки нас не покидает желание сделать эту неизвестную величину по возможности максимальной. Ведь добиваются же успеха люди в условиях, когда не вся обстановка ясна? Иногда добиваются. Переводя сказанное на математический язык, поставим перед собой следующую задачу.

При заданных условиях a , с учетом неизвестных факторов ξ , найти такое решение $x \in X$, которое по возможности обеспечивает максимальное значение показателя эффективности W .

Это уже другая, не чисто математическая задача (недаром в ее формулировке сделана оговорка «по возможности»). Наличие неопределенных факторов ξ переводит задачу в новое качество: она превращается в **задачу о выборе решения в условиях неопределенности**.

Порассуждаем немного о возникшей задаче. Прежде всего будем честны: неопределенность есть неопределенность, и ничего хорошего в ней нет. Если условия операции неизвестны, мы не можем так же успешно оптимизировать решение, как мы это сделали бы, если бы располагали большей информацией. Поэтому любое решение, принятое в условиях неопределенности, хуже решения, принятого в заранее известных условиях. Что делать? Плохое или хорошее — решение все равно должно быть принято. Наше дело — придать этому решению в возможно большей мере черты разумности. Недаром Т.Л. Саати, один из видных зарубежных специалистов по исследованию операций, определяя свой предмет, говорит не без иронии: «Исследование операций представляет собой искусство давать плохие ответы на практические вопросы, на которые даются еще худшие ответы другими методами».

§ 6. Многокритериальные задачи исследования операций. Системный подход

Несмотря на ряд существенных трудностей, связанных с неопределенностью, мы до сих пор рассматривали только самые простые случаи, когда ясен критерий, по которому производится оценка эффективности, и требуется обратить в максимум (минимум) один-единственный показатель W . К сожалению, на практике такие задачи, где критерий оценки однозначно диктуется целевой направленностью операции, встречаются не так уж часто — преимущественно при рассмотрении небольших по масштабу и скромных по значению мероприятий. А когда идет речь о крупномасштабных, сложных операциях, затрагивающих разнообразные интересы их организаторов и общества в целом, то их эффективность, как правило, не может быть полностью охарактеризована с помощью одного-единственного показателя эффективности W ...

...Типичной ситуацией для крупномасштабной задачи исследования операций является многокритериальность — наличие ряда количественных показателей W_1, W_2, \dots , одни из которых желательно обратить в максимум, другие — в минимум («чтобы и волки были сыты, и овцы целы»).

Спрашивается, можно ли найти решение, одновременно удовлетворяющее всем этим требованиям? Со всей откровенностью ответим: нет. Решение, обращающее в максимум один какой-то показатель, как правило, не обращает ни в максимум, ни в минимум другие. Поэтому часто применяемая формулировка «достигнуть максимального эффекта при минимальных затратах» представляет собой не более чем фразу и при научном анализе должна быть отброшена.

Как же быть в случае, если все же приходится оценивать эффективность операции по нескольким показателям?

Люди, малоискушенные в исследовании операций, обычно торопятся свести многокритериальную задачу к однокритериальной: составляют какую-то функцию от всех показателей и рассматривают ее как один обобщенный показатель, по которому и оптимизируется решение. Часто такой обобщенный показатель имеет вид дроби, в числителе которой стоят все величины, увеличение которых желательно, а в знаменателе — те, увеличение которых нежелательно. Например, продуктивность и доход — в числителе, время выполнения и расходы — в знаменателе и т. д.

Такой способ объединения нескольких показателей в один не может быть рекомендован, и вот почему: он основан на неявном допущении, что недостаток в одном показателе всегда может быть скомпенсирован за счет другого; например, малая продуктивность — за счет низкой стоимости и т. д. Это, как правило, несправедливо.

Вспомним «критерий для оценки человека», полушутя-полусерьезно предложенный когда-то Львом Толстым. Он имеет вид дроби, в числителе которой стоят действительные достоинства человека, а в знаменателе — его мнение о себе. С первого взгляда такой подход может показаться логичным. Но представим себе человека, почти совсем не имеющего достоинств, но совсем не обладающего сомнением. По критерию Л. Н. Толстого, такой человек должен иметь бесконечно большую ценность, с чем уж никак согласиться нельзя...

К подобным парадоксальным выводам может привести (и нередко приводит) пользование показателем в виде дроби, где, как говорят, все что «за здоровье», — в числителе, все что «за упокой», — в знаменателе.

Нередко применяется и другой, чуть более замысловатый способ составления «обобщенного показателя эффективности» — он представляет собой «взвешенную сумму» частных показателей, в которую каждый из них W_i входит с каким-то «весом» a_i , отражающим его важность:

$$W = a_1 W_1 + a_2 W_2 + \dots \quad (6.1)$$

(для тех показателей, которые желательно увеличить, веса берутся положительными, уменьшить – отрицательными).

При произвольном назначении весов a_1, a_2, \dots этот способ ничем не лучше предыдущего (разве тем, что обобщенный критерий не обрывается в бесконечность). Его сторонники ссылаются на то, что и человек, принимая компромиссное решение, тоже мысленно взвешивает все «за» и «против», приписывая большой вес более важным для него факторам. Это, может быть, и так, но, по-видимому, «весовые коэффициенты», с которыми входят в расчет разные показатели, не постоянны, а меняются в зависимости от ситуации.

Поясним это элементарным примером. Человек выходит из дома, чтобы ехать на работу, боится опоздать и размышляет: каким транспортом воспользоваться? Трамвай ходит часто, но идет долго; автобус – быстрее, но с большими интервалами. Можно, конечно, взять такси, но это обойдется дорого. Есть еще такое решение: часть пути проехать на метро, а затем взять такси. Но на стоянке может не быть машин, а добираясь до работы со станции метро пешком, он рискует опоздать больше, чем если бы ехал автобусом. Как ему поступить?

Перед нами типичная (намеренно упрощенная) задача исследования операций с двумя критериями (показателями). Первый – среднее ожидаемое время опоздания T , которое хотелось бы сделать минимальным. Второй – ожидаемая стоимость проезда S ; ее тоже желательно сделать минимальной. Но эти два требования, как мы знаем, несовместимы, поэтому человек должен принять компромиссное, приемлемое по обоим критериям, решение. Возможно, он при этом подсознательно взвешивает все «за» и «против», пользуясь чем-то вроде обобщенного показателя:

$$W = a_1 T + a_2 S \rightarrow \min. \quad (6.2)$$

Но беда в том, что весовые коэффициенты a_1, a_2 никак нельзя считать постоянными. Они зависят как от самих величин T и S , так и от обстановки. Например, если человек недавно уже получил выговор за опоздание, коэффициент при T у него, вероятно, увеличится, а на другой день после получки, вероятно, уменьшится коэффициент при S . Если же назначать (как это обычно и делается) веса a_1, a_2 произвольно, то, по существу, столь же произвольным будет и вытекающее из них «оптимальное» решение.

Здесь мы встречаемся с очень типичным для подобных ситуаций приемом – «переносом произвола из одной инстанции в другую». Простой выбор компромиссного решения на основе мысленного

сопоставления всех «за» и «против» каждого решения кажется слишком произвольным, недостаточно «научным». А вот маневрирование с формулой, включающей (пусть столь же произвольно назначенные) коэффициенты a_1, a_2, \dots , — совсем другое дело. Это уже «наука!» По существу же, никакой науки тут нет, и нечего обманывать самих себя.

«Гони природу в дверь — она влетит в окно». Нечего надеяться полностью избавиться от субъективности в задачах, связанных с выбором решений. Даже в простейших, однокритериальных задачах она неизбежно присутствует, проявляясь хотя бы в выборе показателя эффективности и математической модели явления. Тем более неизбежна субъективность (грубо говоря, произвол) при выборе решения в многокритериальной задаче. Правда, бывают редкие случаи, когда достаточно ознакомиться со значениями всех показателей для каждого варианта, чтобы сразу стало ясно, какой из них выбрать. Представим себе, например, что какой-то вариант решения x имеет преимущество над другими **по всем показателям**; ясно, что именно его следует предпочесть. Но гораздо чаще встречаются случаи, когда с первого взгляда ситуация неясна: один из показателей тянет в одну сторону, другой — в другую. При этом всегда полезно провести дополнительные расчеты, пользуясь, может быть, даже формулами типа (6.1), но не доверяя им слепо, а сохраняя к ним критическое отношение.

Выходит, что математический аппарат не может нам ничем помочь при решении многокритериальных задач? Отнюдь нет, он может помочь, и очень существенно. Прежде всего он позволяет решать прямые задачи исследования операций, т. е. для любого решения x находить значения показателей эффективности W_1, W_2, \dots , сколько бы их ни было (кстати, для прямых задач многокритериальность — не помеха). И, во-вторых, что особенно важно, он помогает выбраковывать из множества возможных решений X заведомо неудачные, уступающие другим по всем критериям.

Покажем, как это в принципе делается. Пусть имеется многокритериальная задача исследования операций с k критериями W_1, W_2, \dots, W_k . Для простоты предположим, что все эти величины желательно максимизировать (как переходить от «минимума» к «максимуму», мы уже знаем). Пусть в составе множества возможных решений x_1 и x_2 такие, что все критерии W_1, W_2, \dots, W_k для первого решения больше или равны соответствующим критериям для второго решения, причем хотя бы один из них действительно **больше**. Очевидно, тогда в составе множества X нет смысла сохранять решение x_2 , оно вытесняется (или, как говорят, «доминируется») решением x_1 . Ладно, выбросим решение x_2 как неконкурентоспособное и перейдем к сравнению других по всем критериям. В результате такой процедуры отбрасывания заведомо непригодных,

невыгодных решений множество X обычно сильно уменьшается: в нем сохраняются так называемые **эффективные** (иначе «паретовские») решения, характерные тем, что ни для одного из них не существует доминирующего решения.

Проиллюстрируем прием выделения паретовских решений на примере задачи с двумя критериями: W_1 и W_2 (оба требуется максимизировать). Множество X состоит из конечного числа n возможных решений x_1, x_2, \dots, x_n . Каждому решению соответствуют определенные значения показателей W_1, W_2 ; будем изображать решение точкой на плоскости с координатами W_1, W_2 и занумеруем точки соответственно номеру решения (рис. 6.1).

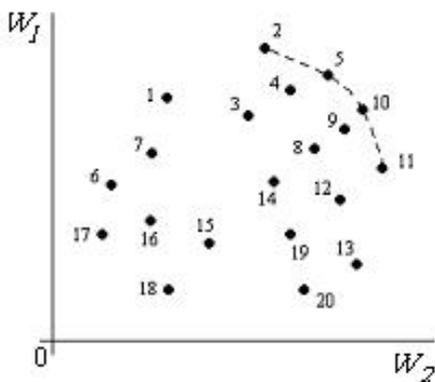


Рис. 6.1

Очевидно, из всего множества X эффективными будут только решения x_2, x_5, x_{10}, x_{11} лежащие на правой верхней границе области возможных решений (см. жирные точки, соединенные пунктиром, на рис. 2.1). Для всякого другого решения существует хотя бы одно доминирующее, для которого либо W_1 , либо W_2 , либо оба больше, чем для данного. И только для решений, лежащих на правой верхней границе, доминирующих не существует.

Когда из множества возможных решений выделены эффективные, «переговоры» могут вестись уже в пределах этого «эффективного» множества. На рис. 2.1 его образуют четыре решения: x_2, x_5, x_{10} и x_{11} ; из них x_{11} — лучшее по критерию W_1 , x_2 — по критерию W_2 . Дело лица, принимающего решение, выбрать тот вариант, который для него предпочтителен и приемлем по обоим критериям.

Аналогично строится множество эффективных решений и в случае, когда показателей не два, а больше (при числе их, большем трех, геометрическая интерпретация теряет наглядность, но суть дела

сохраняется). Множество эффективных решений легче обозримо, чем множество X . Что касается окончательного **выбора решения**, то он по-прежнему остается прерогативой человека. Только человек с его непревзойденным умением решать неформальные задачи, принимать так называемые «компромиссные решения» (не строго-оптимальные, но **приемлемые** по ряду критериев) может взять на себя ответственность за окончательный выбор.

Однако сама процедура выбора решения, будучи повторена неоднократно, может послужить основой для выработки некоторых формальных правил, применяемых уже без участия человека. Речь идет о так называемых «эвристических» методах выбора решений. Предположим, что опытный человек (или, еще лучше, группа опытных людей) многократно выбирает компромиссное решение в многокритериальной задаче исследования операций, решаемой при разных условиях α . Набирая статистику по результатам выбора, можно, например, разумным образом подобрать значение «весов» a_1, a_2, \dots в формуле (6.1), в общем случае зависящие от условий α и самих показателей W_1, W_2, \dots , и воспользоваться таким обобщенным критерием для выбора решения, на этот раз уже автоматического, без участия человека. На это иногда приходится идти в случаях, когда времени на обдумывание компромиссного решения нет (например, в условиях боевых действий), или же в случае, когда выбор решения передается автоматизированной системе управления (АСУ).

В некоторых случаях очень полезной оказывается процедура выбора решения в так называемом «диалоговом режиме», когда машина, произведя расчеты, выдает лицу (лицам), управляющему операцией, значения показателей W_1, W_2, \dots , а это лицо, критически оценив ситуацию, вносит изменения в весовые коэффициенты (или иные параметры управляющего алгоритма).

Существует один часто применяемый способ свести многокритериальную задачу к однокритериальной — это выделить один (главный) показатель W_1 и стремиться его обратить в максимум, а на все остальные W_2, W_3, \dots наложить только некоторые ограничения, потребовав, чтобы они были не меньше каких-то заданных w_2, w_3, \dots . Например, при оптимизации плана работы предприятия можно потребовать, чтобы прибыль была максимальна, план по ассортименту — выполнен или перевыполнен, а себестоимость продукции — не выше заданной. При таком подходе все показатели, кроме одного — главного, переводятся в разряд заданных условий α . Известный произвол в назначении границ w_2, w_3, \dots , разумеется, при этом остается: поправки в эти границы тоже могут быть введены в «диалоговом режиме».

Существует еще один путь построения компромиссного решения, который можно назвать «методом последовательных уступок». Предположим, что показатели W_1, W_2, \dots расположены в порядке убывающей важности. Сначала ищется решение, обращающее в максимум первый (важнейший) показатель $W_1 = W_1^*$. Затем назначается, исходя из практических соображений, с учетом малой точности, с которой нам известны входные данные, некоторая «уступка» ΔW_1 , которую мы согласны сделать для того, чтобы максимизировать второй показатель W_2 . Наложим на показатель W_1 ограничение: потребуем, чтобы он был меньше, чем $W_1^* - \Delta W_1$, и при этом ограничении ищем решение, обращающее в максимум W_2 . Далее снова назначим «уступку» в W_2 , ценой которой можно максимизировать W_3 , и т. д. Такой способ построения компромиссного решения хорош тем, что здесь сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе приобретается выигрыш в другом и какова величина этого выигрыша.

Так или иначе, при любом способе ее постановки задача обоснования решения по нескольким показателям остается не до конца формализованной, и окончательный выбор решения всегда определяется волевым актом «командира» (так можно условно назвать ответственное за выбор лицо). Дело исследователя – предоставить в распоряжение командира данные, помогающие ему делать выбор не «вслепую», а с учетом преимуществ и недостатков каждого варианта решения.

* * *

В заключение скажем несколько слов о так называемом «системном подходе» к задачам выбора решений...

На практике «системный подход» в исследовании операций сводится пока что к тому, что каждое звено, работа которого оптимизируется, полезно рассмотреть как часть другой, более обширной системы и выяснить, как влияет работа данного звена на работу последней [3].

Фрагмент IV

1.4. Формулировка положений системного подхода к проектированию

Исходным положением всякого системного исследования является представление о целостности изучаемой системы.

Системное исследование – это изучение системы и ее поведения в целом, как единого объекта, выполняющего определенную функцию в конкретных условиях. При системном исследовании должны учитываться взаимодействие и взаимное влияние отдельных частей

(подсистем) системы, существенные с точки зрения достижения системой заданной цели, воздействие окружающей среды и других систем, с которыми изучаемая система находится во взаимодействии или контакте.

Системный подход — это учет всего, что влияет на выполнение системой своих задач и достижение ею своих целей. При этом сама цель функционирования системы, решаемые ею задачи должны быть осмыслены и сформулированы с учетом влияния изучаемой системы на другие системы, и в первую очередь — на систему более высокого иерархического уровня. Неправильно или слишком узко понятые и нечетко сформулированные цель и задачи функционирования системы сводят на нет эффект системного исследования.

Все системы, в том числе технические, работают во взаимодействии, оказывают то или иное влияние друг на друга. Сейчас практически невозможно выделить полностью изолированную систему. Так, например, некоторая линия связи входит составной частью в систему (сеть) передачи информации; эта система, в свою очередь, обеспечивает управление производственными процессами в определенной отрасли народного хозяйства; народное хозяйство страны оказывает влияние на мировое хозяйство, на окружающую среду, в том числе, в определенной степени, и на исходную линию связи. Учитывая взаимосвязь всех систем и явлений окружающего мира, весьма важно правильно выбрать сам объект системного исследования. Этот объект должен быть достаточно масштабной системой, чтобы имело смысл ее отдельное исследование и его результаты давали бы значительный эффект по сравнению с исследованием системы по частям. Вместе с тем масштабы объекта системного исследования должны оставаться в рамках вычислительных возможностей ЭВМ и допускать хотя бы приближенное описание математическими методами.

Важнейшей областью системных исследований является оптимальное проектирование систем.

В системотехнике под проектированием в широком смысле понимают этап «жизни системы» от составления технического задания на ее разработку до изготовления опытных образцов и проведения опытной эксплуатации системы. Однако чаще проектирование понимают более узко, как составление плана системы; в таком смысле термин «проектирование» применяется и ниже в этой работе. Существуют различные уровни составления плана построения системы (этапы проектирования): предварительный проект, технический проект, или научно-исследовательская разработка, опытно-конструкторская разработка и др. На каждом из этих этапов в принципе можно применять общую методику системного проектирования, однако наиболь-

шее значение она имеет на этапе предварительного проектирования, когда выбирается структура (структурная схема) построения системы и отыскиваются значения ее параметров.

В соответствии с принятым выше определением понятия «проектирование» под оптимальным проектированием понимается составление плана оптимальной системы. Термин «оптимальное проектирование системы» аналогичен принятым терминам «оптимальное математическое программирование» и «оптимальный синтез цепей» и является синонимом термина «проектирование оптимальной системы». Заметим, что при оптимальном проектировании вопрос об оптимизации самого процесса проектирования (составления плана системы) обычно не ставится, а определение «оптимальный» относится только к самой системе.

В области оптимального проектирования принципы системного подхода могут быть сформулированы следующим образом:

1. Система, состоящая из оптимальных частей, не является в общем случае оптимальной. Поэтому система должна оптимизироваться в целом, как единый объект с заданным целевым назначением.

Из этого положения не следует делать вывод, что оптимизация по частям не имеет смысла. Во-первых, в некоторых случаях оптимизация по частям совпадает по результату с оптимизацией в целом. Это имеет место, например, когда части системы независимы по оптимизируемым параметрам, т. е. параметры одной части не влияют на выбор параметров другой. Во-вторых, в ряде случаев оптимизация в целом невозможна или затруднительна из-за сложности или неопределенности ее математической модели, и тогда ничего не остается, как оптимизировать систему по частям и надеяться, что результат не очень далек от оптимального. Однако, к сожалению, в большинстве случаев подмена оптимизации системы в целом оптимизацией по частям является не вынужденным и осознанным отступлением перед математическими трудностями, а явной ошибкой.

2. Система должна оптимизироваться по количественно определенному и единственному критерию, отражающему в математической форме цель оптимизации. Критерий оптимальности, представленный в виде функции оптимизируемых параметров системы, называется целевой функцией.

Отсутствие четко определенного критерия оптимизации свидетельствует обычно о недостаточном понимании разработчиком поставленной перед ним задачи. Не менее важно соблюдение принципа единственности критерия. Если, например, увеличение одного показателя системы происходит за счет (или в связи) уменьшения другого, то нельзя оптимизировать систему одновременно по максимумам

обоих показателей. Нельзя, в частности, достигнуть одновременно максимума продукции и минимума затрат, а можно достигнуть максимума продукции при заданных затратах или заданной продукции при минимуме затрат.

3. Система оптимизируется в условиях количественно определенных ограничений на оптимизируемые параметры.

Это означает, что оптимальность системы всегда относительна, условна. Достаточно изменить условия оптимизации, математически определяемые системой функциональных равенств и неравенств, чтобы изменить как оптимальный проект системы, так и экстремальную величину целевой функции [8].

Литература

1. Автоматизация типовых технологических процессов и установок : учебник для вузов / А.М. Корытин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 432 с. : ил.
2. Глушков, В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. – 2-е изд., испр. – М. : Наука, 1987. – 552 с.
3. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология : учеб. пособие для вузов / Е.С. Вентцель. – 4-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2006. – 206 с.
4. Дегтярев, Ю.И. Исследование операций : учебник для вузов по спец. АСУ / Ю.И. Дегтярев. – М. : Высш. шк., 1986. – 320 с.
5. Диксон, Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений / Дж. Диксон. – М. : Мир, 1969. – 440 с.
6. Кузнецов, Б.Г. Наука в 2000 году / Б.Г. Кузнецов. – М. : Наука, 1969. – 216 с.
7. Информационные ресурсы для принятия решений : учеб. пособие / А.П. Вереvченко [и др.]. – М. : Академический Проект ; Екатеринбург : Деловая книга, 2002. – 559 с. : ил.
8. Окунев, Ю.Б. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи / Ю.Б. Окунев, В.Г. Плотникова. – М. : Связь, 1976. – 184 с.
9. Политехнический словарь / редкол. : А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Сов. энциклопедия, 1989. – 656 с.
10. Современный толковый словарь русского языка / гл. ред. С.А. Кузнецов. – М. : Ридерз Дайджест, 2004. – 960 с.
11. Теория выбора и принятия решений : учеб. пособие для вузов / И.М. Макаров [и др.]. – М. : Наука, 1982. – 328 с. : ил.

Раздел 2

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ КАК ОБЪЕКТ ОПТИМИЗАЦИИ (фрагменты литературных источников)

2.1. Общие требования к проекту технологии

Из ряда требований, которым должен удовлетворять проект технологического процесса изготовления сварной конструкции, основными являются следующие.

Прежде всего должна быть обеспечена комплексная проработка всех вопросов, связанных с изготовлением сварной конструкции. Недопустимо ограничиваться разработкой технологии только сварочных операций, так как при оценке качества и экономичности сварной конструкции должны учитываться все производственные операции, выполнявшиеся при ее изготовлении. При этом следует помнить, что всякое снижение требований к качеству выполнения различных операций на первых этапах изготовления конструкции неблагоприятно отразится на качестве выполнения последующих этапов, а исправление дефектов, возникших на первых этапах, будет тем сложнее и дороже, чем позже оно будет производиться. Например, неточности заготовок приведут к некачественной сборке, что повлечет за собой появление дефектов в сварных швах и неточность сварной конструкции. Если сделать экономическое сравнение затрат на исправление дефектов, вызванных неточностью размеров заготовки, то окажется, что дешевле исправить заготовки перед сборкой, чем исправлять пороки сборки, вызванные дефектами заготовок. Если же попытаться исправить дефекты, вызванные некачественными заготовками, в готовой сваренной конструкции, то окажется, что это либо невозможно, либо потребует очень больших затрат. Самым дешевым окажется изготовление сварной конструкции из точных качественных заготовок. Поэтому не следует удешевлять производство заготовок за счет снижения их качества – это всегда окажется наиболее дорогим решением.

Выбор наиболее рационального технологического процесса изготовления сварной конструкции должен производиться на основании анализа нескольких вариантов технологического процесса. Сопоставление вариантов позволит выдвинуть новые, в которых могут быть устранены недостатки и объединены положительные стороны первоначальных вариантов. При оценке вариантов необходимо давать их техническую и экономическую характеристики, дополняющие одна другую. Не следует выбирать вариант технологического процесса,

основываясь только на экономических или только на технических показателях, — в обоих случаях он окажется неполноценным.

Для характеристики и оценки различных вариантов технологического процесса нужны не только качественные, но и количественные показатели. Такие показатели должны основываться на объективных данных для каждого варианта. Как было показано выше, этими данными должны быть: точность конструкции, трудоемкость ее изготовления, расход материалов. Для этого должны быть выбраны оптимальные режимы сварки, оценены суммарные деформации конструкции, установлен расход потребных материалов и т. д. Из-за обилия факторов, влияющих на эти показатели, невозможно умозрительно оценить влияние каждого из них. Опыт изготовления аналогичных конструкций тоже не может дать надежных оснований для выбора оптимального технологического процесса, так как при их изготовлении, как правило, различны размеры элементов, режимы сварки и расположение сварных швов, что оказывает весьма большое влияние на поведение конструкции при сварке. В некоторых случаях для отработки технологии сварки изготавливались опытные конструкции. Однако это слишком дорогой и длительный способ выбора оптимального технологического процесса, и, кроме того, условия изготовления опытных конструкций все же отличаются от изготовления реальных конструкций. Наиболее удобными, дешевыми и объективными являются *расчетные методы проектирования технологических процессов изготовления сварных конструкций*. На основании расчетов могут быть выбраны режимы сварки, обеспечивающие заданные свойства металла шва и околошовной зоны основного металла, определены сварочные деформации и оценена эффективность тех или иных способов борьбы с деформациями, могут быть подсчитаны затраты сварочных материалов и т. д. С помощью расчетов может быть уточнена степень воздействия различных факторов на работоспособность свариваемой конструкции. Поэтому при проектировании выбранные технологические процессы изготовления сварных конструкций должны обосновываться расчетами.

Применение расчетных методов при проектировании технологических процессов облегчает также проектирование самих конструкций. При этом выбор конструктивных решений может быть обоснован в равной мере как соображениями прочности, так и соображениями технологичности. Таким образом, создаются предпосылки для перехода к конструктивно-технологическому проектированию сварных конструкций, что будет способствовать дальнейшему совершенствованию как самих конструкций, так и технологических процессов их изготовления.

Подобно тому, как проектирование конструкций разбивается на две стадии – технический проект и рабочие чертежи, так и проектирование технологического процесса может выполняться в два приема – разработка принципиальной технологии и рабочей технологии.

Принципиальная технология, разрабатываемая одновременно с техническим проектом конструкции, должна включать все основные положения принятого технологического процесса сборки и сварки конструкции, последовательность его выполнения с указанием разбивки конструкции на отдельные технологические элементы и эскизную проработку оснастки и приспособлений. Принятый технологический процесс должен быть обоснован расчетами режимов сварки, сварочных деформаций и сравнительной технико-экономической оценкой проработанных вариантов технологии.

Рабочая технология разрабатывается в процессе рабочего проектирования сварной конструкции и включает:

- уточнения принципиальной технологии, связанные с изменениями конструкции, проведенными при разработке рабочих чертежей;
- разработку технологических карт с уточнением всех параметров режима сварки и указанием применяемых сварочных материалов и используемого сварочного оборудования;
- указания технологических приемов выполнения отдельных производственных операций;
- требования к точности и качеству конструкции на отдельных этапах ее изготовления с указанием методов проверки точности и контроля качества сварных соединений и конструкции в целом.

Одновременно должны разрабатываться предусмотренные принципиальной технологией приспособления и оснастка.

Выбор той или иной схемы технологического процесса в значительной мере зависит от серийности изготавливаемой конструкции, от оснащенности завода-изготовителя оборудованием и от потребности в дополнительном оборудовании. Для учета этих факторов и обоснования принятой схемы технологического процесса необходимы экономические расчеты. Без экономических расчетов нельзя учесть влияние серийности изготавливаемых конструкций и обосновать целесообразность той или иной оснастки сборочно-сварочными приспособлениями. Экономические расчеты позволяют найти наиболее рациональное в данных условиях решение [14].

2.2. Определение технико-экономической эффективности комплексной механизации и автоматизации сварочного производства и выбор наивыгоднейшего варианта

Техническая и экономическая целесообразность того или иного варианта механизации не может быть исчерпывающе оценена каким-либо одним универсальным показателем (уровнем механизации, себестоимостью продукции, удельными капиталовложениями и т. д.). Лишь оптимальное сочетание нескольких показателей, характеризующих технико-экономическую эффективность, может дать удовлетворительное решение задачи о выборе наивыгоднейшего варианта.

Следует иметь в виду, что само понятие об оптимальном сочетании технико-экономических показателей не является однозначным. В общем случае понятие экономической оптимальности, т. е. наибольшей выгоды, целесообразности, рентабельности, является до известной степени условным, относительным. нередки случаи, когда, несмотря на высокий уровень механизации и низкую себестоимость продукции, то есть несмотря на очевидную выгоду варианта, все же отдают предпочтение другому варианту с худшими показателями себестоимости и уровня механизации, но с малыми капиталовложениями и с коротким сроком внедрения. В других случаях (причем в большинстве) бывает наоборот — решающими показателями служат не капиталовложения и даже не срок их окупаемости, а себестоимость, денежная экономия и экономический эффект.

Таким образом, кроме объективных, постоянно действующих факторов и показателей, определяющих техническую и экономическую целесообразность механизации и выбор оптимального варианта (себестоимость, уровень механизации и др.), существуют и переменные — конъюнктурные факторы и показатели, зависящие от финансовых и хозяйственно-экономических возможностей или потребностей данной отрасли промышленности, а может быть, и всей страны в данный период времени. Эти конъюнктурные факторы также влияют на окончательный выбор варианта, и с ними, безусловно, надо считаться.

При дальнейшем рассмотрении вопросов технико-экономической эффективности мы не будем подробно анализировать эти конъюнктурные факторы и оценивать их влияние на выбор варианта, так как они переменны и не поддаются математическому анализу. Тем не менее при разработке проекта механизации их обязательно надо знать и учитывать по прямому заданию. Например, могут быть заданы ограничения по сумме возможных капитальных затрат, по срокам реализации и внедрения, по возможностям изготовления запроектированных сложных машин, по квалификации рабочих и обслуживающего персонала и т. п.

Все эти ограничения непосредственно влияют на выбор той или иной системы механизации и оборудования. В общем случае они снижают возможный уровень механизации и другие показатели технико-экономической эффективности. Из этого, однако, не следует делать вывод о том, что в подобных ситуациях изыскание оптимального и экономически наиболее выгодного варианта механизации теряет смысл, становится вообще невозможным или ненужным. В пределах заданных ограничений (лимитов) можно разрабатывать проект в вариантах и определять сравнительную технико-экономическую эффективность всех вариантов, не выходящих за пределы заданных ограничений.

Таким образом, и в этих случаях методика определения наиболее выгодного варианта остается неизменной, появляются лишь краевые условия задачи.

Эта методика принципиально меняется лишь в тех случаях, когда механизация не дает никакого экономического эффекта в данном сварочном производстве, но создает качественные предпосылки для крупного экономического эффекта при эксплуатации выпускаемой продукции. Например, внедрение износостойкой, высококачественной механизированной наплавки конусных затворов доменных печей хотя и влечет за собой удорожание конусов (увеличение трудоемкости и себестоимости изготовления), но зато дает огромный экономический эффект при эксплуатации этих конусов вследствие значительно сокращения простоев на ремонт доменных печей. В этих случаях методика расчета экономической эффективности должна быть иной, базирующейся на определении разницы между экономией в эксплуатации и добавочными затратами по изготовлению, решающим фактором здесь является экономический эффект эксплуатации, а не изготовления изделия...

В числе распространенных ограничений, лимитирующих выбор средств механизации, встречаются также требования минимальной трудоемкости сварочного производства. Это требование может быть обусловлено, например, недостатком рабочей силы в данном районе страны (особенно высокой квалификации). В подобных случаях решающим фактором при выборе варианта механизации является уровень механизации — его качественный показатель, определяющий удельное снижение трудозатрат, вызванное механизацией сварочного производства. При этом вопросы себестоимости и капиталовложений отодвигаются на второй план. Подобная ситуация нередко создается при необходимости организовать сварочное производство в малонаселенных районах нашей страны, например в полевых условиях строительства нефтерезервуаров, магистральных трубопроводов на дальнем

севере, где острый дефицит в рабочей силе вынуждает применять механизацию с наивысшим значением качественного показателя, не считаясь с себестоимостью и капитальными затратами.

Одним из ограничительных условий механизации и автоматизации сборочно-сварочных операций, возникших в последние годы для некоторых видов работ, является требование дистанционного управления машинами. Это требование относится к тем случаям, когда сборку-сварку приходится производить в местах, недоступных или опасных для человека, например в вакуумных камерах, в котлах реакторов и т. п.

В последнее время появились специфические ограничительные требования для автоматизированной сварки в космосе, обусловленные не только глубоким вакуумом и невесомостью, но и требованиями минимального веса и габаритов сварочного оборудования. В подобных случаях экономика производства вообще отступает на задний план и решающими факторами являются габариты и вес оборудования, а также надежность его действия и обеспечение высокого качества сварных соединений.

Из приведенных примеров ограничений при выборе оптимального варианта механизации следует, что не всегда экономическая эффективность механизации однозначно определяет этот выбор.

Однако подобные ограничительные требования сравнительно редки, и их следует рассматривать как исключения из общего правила об экономической выгодности, определяемой обычными показателями — себестоимостью выпускаемой продукции, удельными приведенными затратами, сроком окупаемости, рентабельностью производства и др. Обычно именно эти показатели экономической эффективности определяют выбор оптимального варианта [28].

Раздел 3 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ИСХОДНОГО МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВ

3.1. Список ГОСТов и ОСТов

№ п/п	Шифр ГОСТа	Наименование ГОСТа
1. Сварка. Общие понятия и основные методы		
1	ГОСТ 2601-84	Сварка металлов. Термины и определения основных понятий
2	ГОСТ 11969-79	Сварка плавлением. Основные положения и обозначения
3	ГОСТ 5264-80	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
4	ГОСТ 14771-76	Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
5	ГОСТ 8713-79	Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
6	ГОСТ 16037-80	Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
7	ГОСТ 10922-90	Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия
8	ГОСТ 23858-79	Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций
9	ГОСТ 14098-91	Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры
10	ГОСТ 19232-73	Сварка металлов плавлением. Дефекты сварных соединений. Термины и определения
11	ГОСТ 1497-84	Металлы. Методы испытания на растяжение
12	ГОСТ 11533-75	Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

№ п/п	Шифр ГОСТа	Наименование ГОСТа
13	ГОСТ 27580-88	Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
14	ГОСТ 14806-80	Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
15	ГОСТ 23518-79	Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
16	ГОСТ 14776-79	Дуговая сварка. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
17	ГОСТ 15878-79	Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры
18	ГОСТ 11534-75	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
19	ГОСТ 30430-96	Сварка дуговая конструкционных чугунов. Требования к технологическому процессу
20	ГОСТ 25997-83	Сварка металлов плавлением. Статистическая оценка качества по результатам неразрушающего контроля
21	ГОСТ 19521-74	Сварка металлов. Классификация
22	ГОСТ 30482-97	Сварка сталей электрошлаковая. Требования к технологическому процессу
23	ГОСТ 15164-78	Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
2. Сварочные материалы		
24	ГОСТ 24297-87	Входной контроль продукции. Основные положения
25	ГОСТ 9466-75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия
26	ГОСТ 9467-75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.

№ п/п	Шифр ГОСТа	Наименование ГОСТа
27	ГОСТ 10052-75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы
28	ГОСТ 10157-79	Аргон газообразный и жидкий. Технические условия
29	ГОСТ 246-70	Проволока стальная сварочная. Технические условия
30	ГОСТ 5457-75	Ацетилен растворенный и газообразный технический. Технические условия
31	ГОСТ 5583-78	Кислород газообразный технический и медицинский. Технические условия
32	ГОСТ 8050-85	Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия
33	ГОСТ 23949-80	Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия
34	ГОСТ 26271-84	Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия
3. Основные материалы		
35	ГОСТ 5632-72	Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки
36	ГОСТ 1050	Сталь углеродистая качественная конструкционная. Технические условия
37	ГОСТ 380-94	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки
38	ГОСТ 17375	Детали трубопроводов стальные бесшовные приварные на $R_y \leq 10$ МПа. Отводы крутоизогнутые
39	ГОСТ 17376	Детали трубопроводов стальные бесшовные приварные на $R_y \leq 10$ МПа. Тройники
40	ГОСТ 17378	Детали трубопроводов стальные бесшовные приварные на $R_y \leq 10$ МПа. Переходы
41	ГОСТ 17379	Детали трубопроводов стальные бесшовные приварные на $R_y \leq 10$ МПа. Заглушки эллиптические

№ п/п	Шифр ГОСТа	Наименование ГОСТа
42	ГОСТ 24950-81	Отводы гнутые и вставки кривые на поворотах линейной части стальных магистральных трубопроводов. Технические условия
43	ГОСТ 10705-80	Трубы стальные электросварные. Технические условия
44	ГОСТ 10884-94	Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия
45	ГОСТ 10704-91	Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент
46	ГОСТ 82-70	Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент
47	ГОСТ 103-76	Полоса стальная горячекатаная. Сортамент
48	ГОСТ 6009-74	Лента стальная горячекатаная. Технические условия
49	ГОСТ 8239-89	Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент
50	ГОСТ 14637-89	Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия
51	ГОСТ 27772-88	Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия
52	ГОСТ 19281-89	Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия
4. Контроль качества сварных соединений		
53	ГОСТ 18353-79	Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов
54	ГОСТ 3242-79	Соединения сварные. Методы контроля качества
55	ГОСТ 20426-82	Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения
56	ГОСТ 7512-82	Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод
57	ГОСТ 23055-78	Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля
58	ГОСТ 23479-79	Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования

№ п/п	Шифр ГОСТа	Наименование ГОСТа
59	ГОСТ 14782-86	Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые
60	ГОСТ 22368-77	Контроль неразрушающий. Классификация дефектности стыковых сварных швов по результатам ультразвукового контроля
61	ГОСТ 18442-80	Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования
62	ГОСТ 21105-87	Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод
63	ГОСТ 21104-75	Контроль неразрушающий. Феррозондовый метод.
64	ГОСТ 6996-66	Сварные соединения. Методы определения механических свойств
65	ГОСТ 22838-77	Сплавы жаропрочные. Методы контроля и оценки макроструктуры
66	ГОСТ 5639-82	Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна
67	ГОСТ 6032-89	Стали и сплавы. Методы испытания на межкристаллитную коррозию ферритных, аустенитно-мартенситных, аустенитно-ферритных и аустенитных коррозионностойких сталей и сплавов на железо-никелевой основе
68	ГОСТ 23858-79	Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций. Ультразвуковые методы контроля качества. Правила приемки
69	ГОСТ 23240-78	Конструкции сварные. Метод оценки хладостойкости по реакции на ожог сварочной дугой

ОСТ 24.201.03-90	Сосуды и аппараты стальные высокого давления. Общие технические требования
ОСТ 26-3-87	Сварка в химическом машиностроении. Основные положения
ОСТ 26-01-1434-87	Сварка стальных технологических трубопроводов на давление P_u свыше 10 до 100 МПа. Технические требования
ОСТ 26.07.755-86	Арматура трубопроводная. Сварка и контроль

ОСТ 36-39-80	Трубопроводы стальные технологические на давление до 10 МПа. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами
ОСТ 36-57-81	Трубопроводы стальные технологические из углеродистых и легированных сталей на давление до 10 МПа. Ручная аргонодуговая сварка
ОСТ 36-79-83	Трубопроводы стальные технологические из углеродистых и легированных сталей на давление до 10 МПа. Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде CO ₂

3.2. Типы сварных соединений по толщинам и способам сварки

При использовании нижеприведенных таблиц следует иметь в виду, что не все из них составлены с учетом всех разновидностей соединений, которые имеются в ГОСТах. Так, в таблицах стыковых соединений не учтены соединения с отбортовкой кромок и замковые соединения.

Назначение таблиц – сократить время на составление исходного множества вариантов по типам соединений и начального перечня способов сварки.

Таблица 3.1

Типы угловых соединений по ГОСТ 5264-80

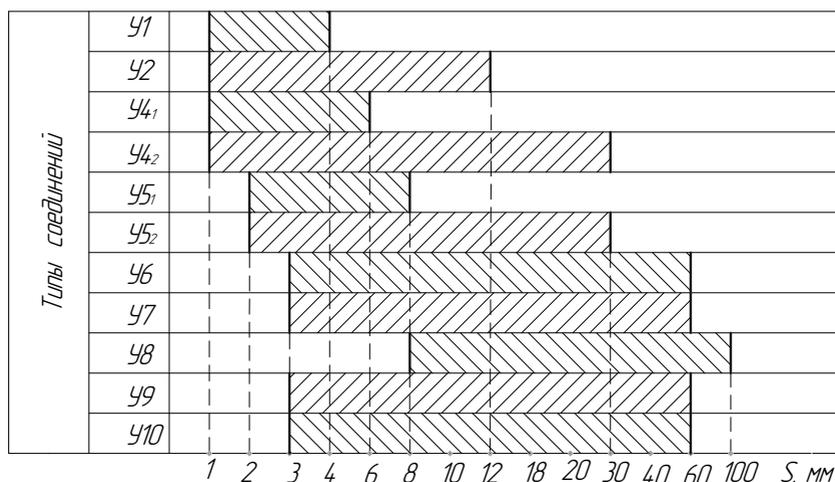


Таблица 3.2

Типы стыковых соединений по ГОСТ 5264-80

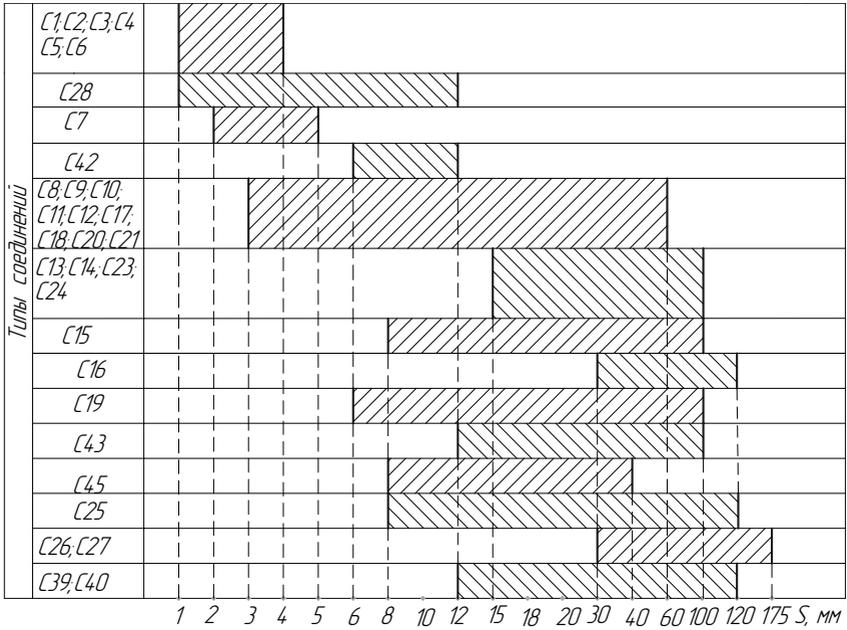


Таблица 3.3

Типы тавровых соединений по ГОСТ 5264-80

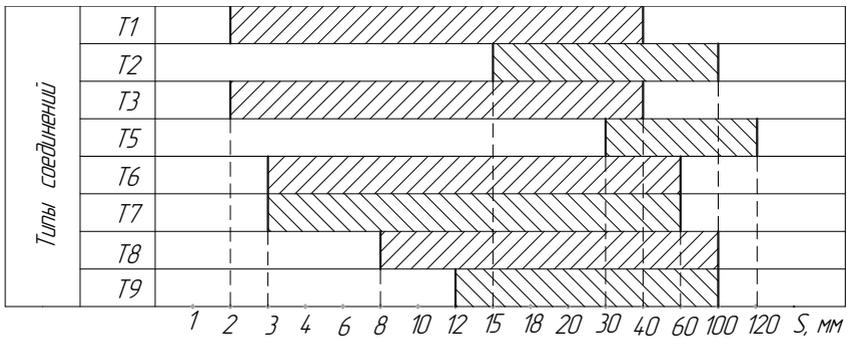


Таблица 3.4

Типы стыковых соединений и способы их сварки по ГОСТ 14771-76

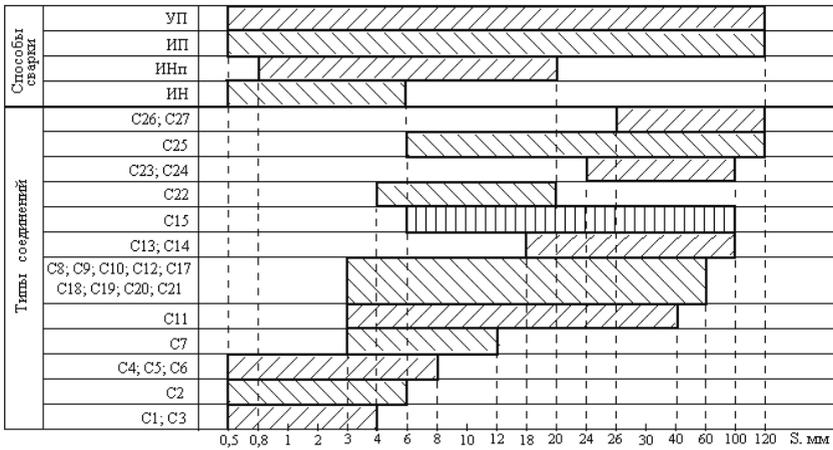
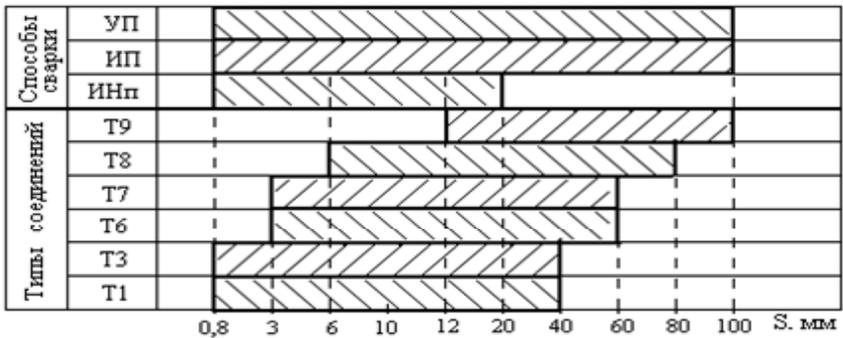


Таблица 3.5

Типы тавровых соединений и способы их сварки по ГОСТ 14771-76



Чтобы сформировать исходное множество вариантов по типам соединений и начального перечня способов сварки, необходимо в любой из табл. 3.1–3.6 для толщины 40 мм провести вертикальную линию и, ориентируясь на эту линию, вписать в табл. 3.7 соответствующую информацию.

Таблица 3.7

Возможные типы соединений и способы сварки по узлам изделия

Шифр узла, материал, толщина, тип соединения	Возможные разновидности соединения по ГОСТ	Способы сварки
Узел № 1, Ст3 S = 40 мм, стыковое	ГОСТ 14771-76	
	С 8, С 9, С 10, С 11, С 12, С 17, С 18, С 19, С 20, С 21, С 27	УП
	С 13, С 14, С 15, С 23, С 24, С 25, С 26	ИП, УП
	ГОСТ 8713-79	
	С 25	АФ, МФ, АФк
	С 31, С 32, С 36	АФф
	С 34, С 35, С 38	АФо

3.3. Возможные способы сварки. Перечень

Обозначение	Название способов
Комбинированная дуговая сварка	
РАД + РД	– корневой шов – РАД, остальной – РД
РАД + МП	– корневой шов – РАД, остальной – МП
Способы сварки по ГОСТ 14771-76	
ИН	В инертных газах, неплавящимся электродом без присадочного материала
ИНп	В инертных газах неплавящимся электродом с присадочным материалом
ИП	В инертных газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом
УП	В углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом

Обозначение	Название способов
Способы сварки под флюсом по ГОСТ 8713-79	
АФ	Автоматическая на весу
АФф	Автоматическая на флюсовой подушке
АФм	Автоматическая на флюсомедной подкладке
АФо	Автоматическая на остающейся подкладке
АФп	Автоматическая на медном ползуне
АФш	Автоматическая с предварительным наложением подварочного шва
АФк	Автоматическая с предварительной подваркой корня шва
МФ	Механизированная на весу
МФо	Механизированная на остающейся подкладке
МФш	Механизированная с предварительным наложением подварочного шва
МФк	Механизированная с предварительной подваркой корня шва
Способы сварки по «Сборнику нормативных и методических документов системы аттестации сварочного производства»	
РД	– Ручная дуговая сварка покрытыми электродами
РАД	– Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом (ручная)
МАДП	– Механизированная аргонодуговая сварка плавящимся электродом
МП	– Механизированная сварка плавящимся электродом в среде активных газов и смесях
ААД	– Автоматическая аргонодуговая сварка неплавящимся электродом
АПГ	– Автоматическая сварка плавящимся электродом в среде активных газов
ААДП	– Автоматическая аргонодуговая сварка плавящимся электродом
АФ	– Автоматическая сварка под флюсом
МФ	– Механизированная сварка под флюсом
МПС	– Механизированная сварка самозащитной проволокой
МПП	– Механизированная сварка порошковой проволокой в среде активных газов
АППС	– Автоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой

Обозначение	Название способов
Механизированные способы сварки плавлением [1]	
	<ul style="list-style-type: none"> • электродуговая автоматическая сварка под флюсом • полуавтоматическая сварка под флюсом • электродуговая автоматическая сварка в среде защитных газов • полуавтоматическая сварка в среде защитных газов • электрозаклепочная дуговая сварка • сварка сжатой дугой (плазменно-дуговая) • электрошлаковая сварка • электроннолучевая сварка • сварка неподвижным пластинчатым электродом • сварка наклонным электродом или гравитационная сварка • сварка лежачим электродом • сварка лучом лазера
Механизированные способы сварки давлением [1]	
	<ul style="list-style-type: none"> • контактная стыковая сварка сопротивлением • контактная стыковая сварка оплавлением • контактная точечная сварка • контактная рельефная сварка • контактная шовная (роликовая) сварка • контактная конденсаторная сварка точечная • контактная конденсаторная сварка шовная • контактная конденсаторная сварка стыковая • индукционная сварка (т. в. ч.); • радиочастотная сварка • дуго-контактная сварка • диффузионная сварка в вакууме • прессовая стыковая сварка (с нагревом) • сварка трением • сварка взрывом • ультразвуковая сварка • холодная сварка
<p>В [1] приводятся сведения о достоинствах, недостатках и области применения перечисленных выше способов сварки.</p>	
<p>В [2] достаточно полно представлена классификация способов сварки</p>	

Литература к перечню

1. Севбо, П.И. Комплексная механизация и автоматизация сварочно-го производства / П.И. Севбо. — Киев : Техніка, 1974. — 416 с. : ил.
2. Теоретические основы сварки : учеб. пособие для вузов / под ред. В.В. Фролова. — М. : Высш. шк., 1970. — 592 с. : ил.

Дополнительно к перечню

Электродуговая автоматическая сварка в среде защитных газов:

- плавящимся электродом проволокой сплошного сечения:
 - в среде углекислого газа;
 - смеси газов;
 - режим с крупнокапельным переносом металла;
 - режим со среднекапельным переносом металла;
 - струйный режим;
 - импульсный режим;
- порошковой проволокой:
 - в среде углекислого газа;
 - самозащитной;
- неплавящимся (вольфрамовым) электродом в непрерывном режиме на постоянном токе:
 - в аргоне;
 - гелии;
 - смеси инертных газов;
 - свободной дугой;
 - сжатой дугой;
- неплавящимся (вольфрамовым) электродом в непрерывном режиме на переменном токе:
 - в аргоне;
 - гелии;
 - смеси инертных газов;
 - однофазной дугой:
 - свободной;
 - сжатой;
 - трехфазной дугой;
- неплавящимся (вольфрамовым) электродом в импульсном режиме на постоянном токе:
 - в аргоне;
 - гелии;
 - смеси инертных газов;
 - свободной дугой;
 - сжатой дугой;

- неплавящимся (вольфрамовым) электродом в импульсном режиме на переменном токе:
 - в аргоне;
 - гелии;
 - смеси инертных газов;
 - однофазной дугой:
 - свободной;
 - сжатой;
 - трехфазной дугой;
- неплавящимся электродом в среде инертного газа заклепками.

3.4. Морфологический метод формирования исходного множества альтернатив (ИМА)

Другая возможность формировать ИМА по способам сварки – использовать так называемый «морфологический» алгоритм порождения альтернатив [11, р. 1]. Суть его поясняется на примере формирования ИМА по разновидностям способа аргонодуговой сварки неплавящимся электродом (табл. 3.8).

Способ сварки характеризуется некоторым набором разновидностей основных признаков. Каждая разновидность основного признака не одинаково влияет как на экономические показатели способа, так и на качество формирования сварного шва.

Таблица 3.8

Разновидности способов аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

Основной признак	Разновидности основного признака	Разновидности способов сварки (варианты)					
		1	2	3	4	...	<i>N</i>
Состав защитной среды	аргон	+	+				+
	аргон + гелий			+			
	гелий				+		
Способ защиты	локальная односторонняя	+	+	+	+		
	локальная двусторонняя						+
	объемная						
Характер ввода энергии в изделие	непрерывный	+			+		+
	импульсный		+	+			

Продолжение табл. 3.8

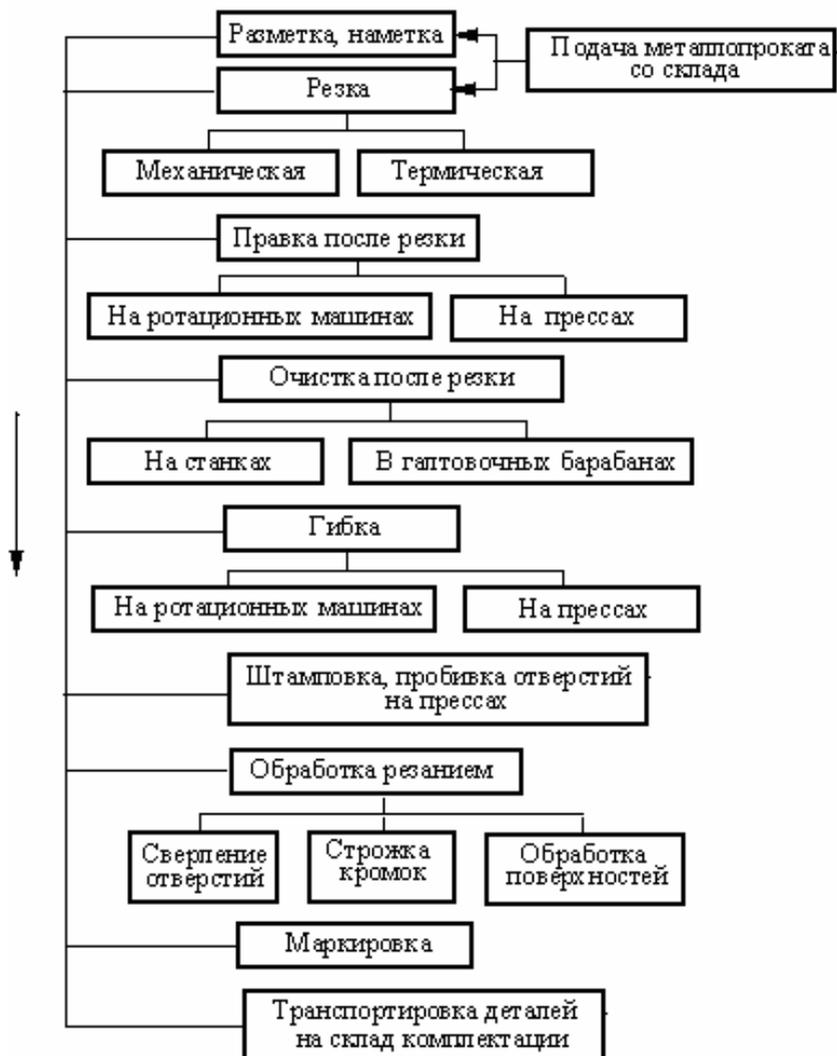
Основной признак	Разновидности основного признака	Разновидности способов сварки (варианты)					
		1	2	3	4	...	<i>N</i>
Род тока дуги	постоянный ток	+	+	+			
	переменный ток				+		+
Количество дуг, горящих в одноплавильное пространство	одна однофазная	+	+	+	+		
	две однофазные						
	трехфазная дуга						+
Виды дуг	свободная	+	+	+	+		+
	погруженная						
	сжатая						
Использование присадочного материала	с присадкой	+	+	+	+		+
	без присадки						
Характер механизации	ручная	+					
	механизированная						
	автоматическая		+	+	+		+

Формально общее количество N разновидностей способа равно произведению $N = m_1 m_2 \dots m_g$, где m – количество разновидностей основного признака.

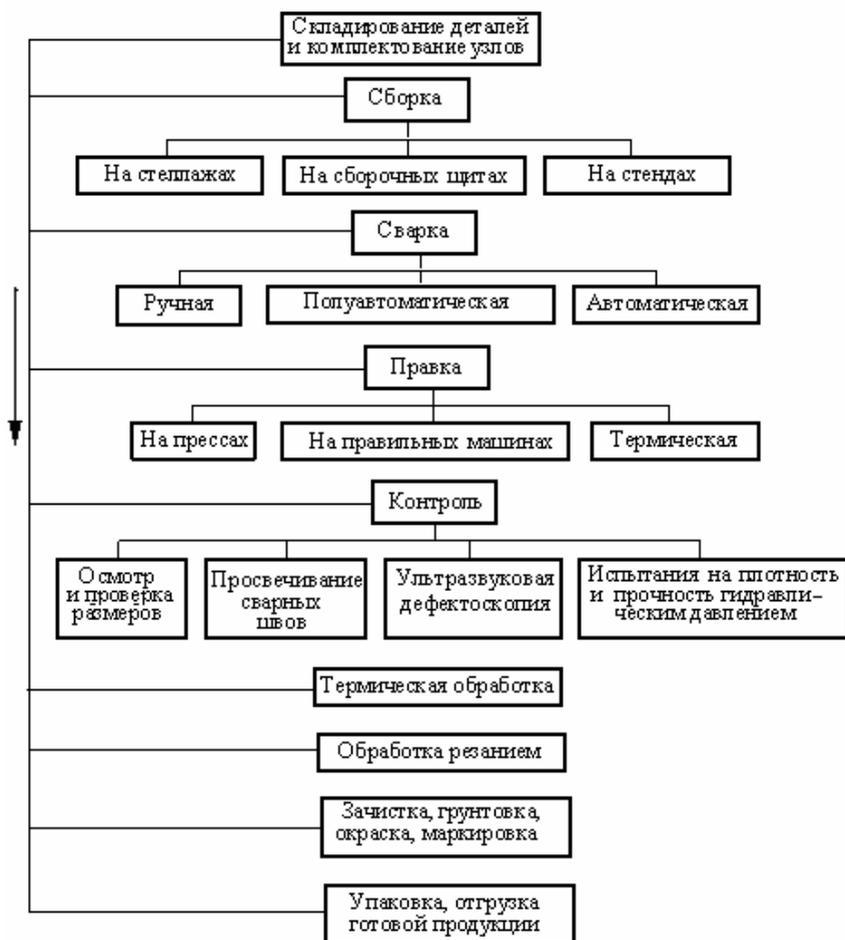
Таким образом, для табл. 3.8 $N = 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 = 1944$. Однако из этого количества необходимо исключить альтернативы, которые по тем или иным причинам не могут быть реализованы. Например, трехфазная дуга в настоящее время может быть реализована только при ее питании переменным током; применение камеры с контролируемой атмосферой (способ защиты, названный в таблице объемным) ограничено габаритами сварной конструкции и т. д.

3.5. Схемы и варианты способов выполнения технологических операций

Схема выполнения досварочных операций



**Схема выполнения сборочно-сварочных
и последующих операций [19]**



Раздел 4
ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ.
КРИТЕРИИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**4.1. Основные технико-экономические показатели
для сравнения вариантов (сводка)**

Наименование показателя	Обозначения	Размерность
Годовой выпуск сварной продукции	B	т/год; шт./год
Капитальные вложения	K	руб.
Себестоимость годовой продукции	C	руб./год
Себестоимость единицы выпускаемой продукции или ее передела	A	руб./т; руб./шт.
Трудоемкость производства или передела единицы выпускаемой продукции	T	чел.ч/т; чел.ч/шт.
Производительность труда или выработка продукции на одного работающего или рабочего	$\frac{1}{T}$	т/чел.ч; шт./чел.ч
Срок окупаемости капиталовложений – расчетный	$T_{ок}$	лет
То же – нормативный	T_n	лет
Коэффициент сравнительной экономической эффективности – расчетный	$E = \frac{1}{T_{ок}}$	-
То же – нормативный	$E = \frac{1}{T_n}$	-
Денежная экономия	\mathcal{E}	руб./год
Приведенные годовые затраты	D	руб./год
Приведенные удельные затраты на единицу выпускаемой продукции	$D_{уд} = \frac{D}{B}$	руб./шт.
Годовой экономический эффект	Φ	руб./год
Удельный экономический эффект	$\Phi_{уд} = \frac{\Phi}{B}$	руб./т; руб./шт.
Уровень механизации – качественный показатель	$У$	%
Коэффициент производительности	Π_o	–
Уровень рентабельности производства	R_n	%
Уровень рентабельности изделия или единицы выпускаемой продукции	R_n	%

4.2. Отработка технологичности металлических конструкций и рациональной технологии по их изготовлению

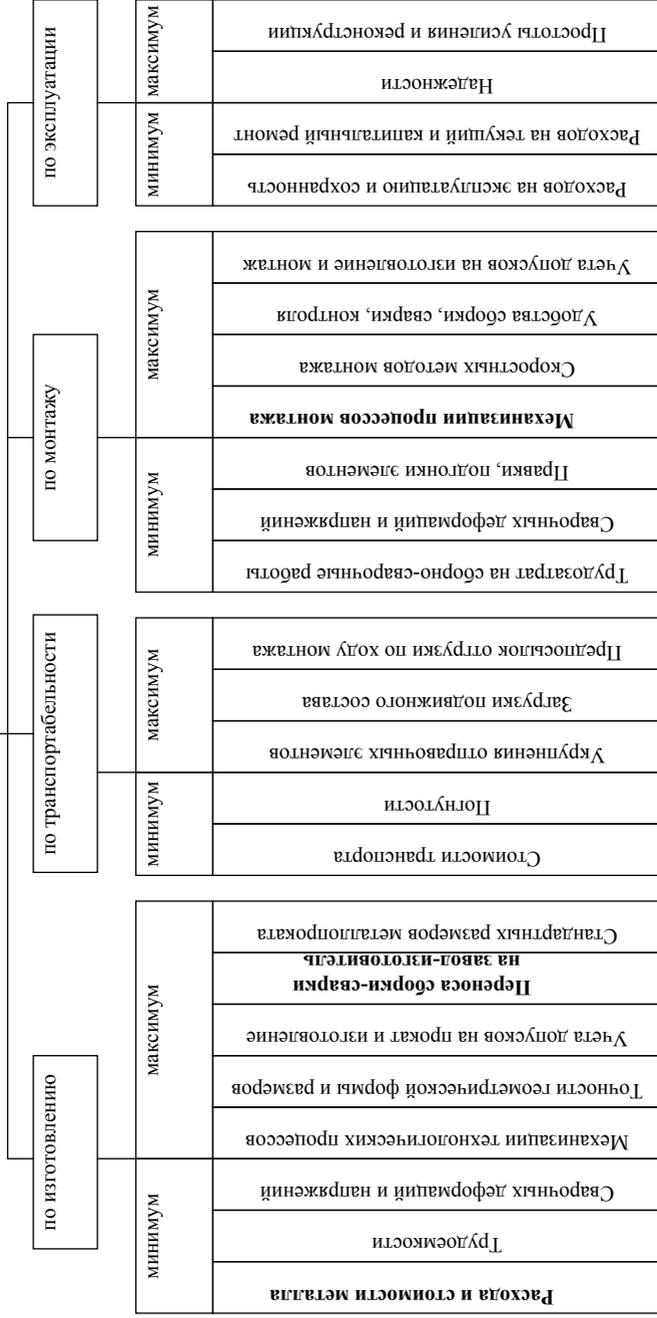
Желательно обеспечить минимум	За счет каких факторов (мероприятий) можно достичь минимума	
<p>Расхода и стоимости основных, сварочных и вспомогательных материалов (без снижения требований к назначенным показателям качества)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изменение конструкции: <ol style="list-style-type: none"> 1.1. уменьшение габаритов; 1.2. уменьшение номенклатуры составляющих узлов и деталей; 1.3. уменьшение толщины металла; 1.4. замена материала на более дешевый 2. Изменение способа (метода) изготовления конструкции (например, вместо сварки – литье): <ol style="list-style-type: none"> 2.1. конструкции в целом; 2.2. отдельных узлов (деталей). 3. Применение ресурсосберегающих технологий изготовления конструкции 	
<p>Трудоемкости (без снижения требований к назначенным показателям качества)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Минимум сборочных единиц (задача проектирования конструкции) 2. Минимум (уменьшение) технологических операций (задача проектирования конструкции и технологии). 3. Минимум (уменьшение) ручного труда. 4. Выбор наиболее производительных способов (методов) воздействия на предмет труда и управления этими воздействиями. 5. Выбор наиболее производительного технологического оборудования. 6. Применение различного рода приемов и методов поточного производства 	
<p>Сварочных деформаций и напряжений</p>	<p>Применение наиболее эффективных методов предотвращения и устранения сварочных деформаций и напряжений:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. при сборке изделий под сварку; 2. в процессе сварки; 3. после сварки 	<p>Сагалевиц, В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. – М. : Машиностроение, 1974. – 248 с.</p>

Желательно обеспечить максимум	За счет каких факторов (мероприятий) можно достичь максимума
Механизации технологических процессов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение пневмо-, гидро- и электроустройств (например, зажимных) при выполнении сборочных операций, а также операций по пространственному ориентированию (в частности, кантованию) обрабатываемого изделия. 2. Использование автоматического оборудования, робототехники, установок с числовым программным управлением при выполнении основных и вспомогательных технологических операций. 3. Использование механизированных, автоматизированных и автоматических поточных линий
Точности геометрической формы и размеров	<ol style="list-style-type: none"> 1. Указание соответствующих требований по точности изготовления детали, узла, изделия и средств контроля в пооперационных технологических картах (технологиях, инструкциях). 2. Использование методов и приемов, обеспечивающих минимум или отсутствие деформаций (в процессе и после выполнения основной операции)
Учета допусков на прокат и изготовление	Задача решается при проектировании конструкции и технологии изготовления
Переноса сборки-сварки на завод-изготовитель	Задача решается при проектировании конструкции
Стандартных размеров металлопроката	Задача решается при проектировании конструкции и технологии изготовления

Таблица может быть дополнена другой полезной информацией.

Общая схема обработки металлических конструкций на технологичность

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ



4.3. Выбор варианта стыкового соединения

4.3.1. Рекомендации из литературных источников

Выбор разновидности типа соединения и способа сварки взаимосвязаны в том смысле, что влияют на выбор друг друга. В литературе по сварке нет указаний на то, в какой последовательности целесообразно осуществлять выбор: сначала соединение, потом способ сварки или наоборот.

Предлагается начать выбор с разновидности соединения, для чего полезно иметь в виду нижеприведенные рекомендации.

Стыковое соединение обеспечивает возможность передачи усилия непосредственно от одной детали к другой без использования промежуточных элементов. Оно является оптимальным по количеству затрачиваемого металла и условиям работы соединения под нагрузкой. Стыковой шов должен гарантировать провар металла по всей его толщине. Наиболее рационален стыковой шов, образованный за счет расплавления только основного металла.

Наиболее целесообразно выполнять стыковые швы в один слой.

Недостатком сварки с разделкой кромок по сравнению со сваркой с обязательным зазором является большая стоимость работ по подготовке деталей к сварке. Ее преимущество заключается в улучшении условий формирования шва за счет равномерного отвода теплоты от его корня при сварке первого слоя двусторонних швов, что снижает вероятность образования кристаллизационных трещин и шлаковых каналов, наблюдаемых при сварке с обязательным зазором.

Сварка односторонних швов с полным проваром металла и качественным формированием обратного валика представляет сложную, до сих пор не решенную до конца задачу. Если не принять специальных мер, то ничем не удерживаемая сварочная ванна вытечет из стыка и вместо шва образуются прожоги. Для предотвращения вытекания сварочной ванны под стык устанавливают специальные приспособления, получившие название подкладок и подушек.

Их применение позволяет получать односторонние швы. Однако, несмотря на большое количество используемых для этой цели технологических приемов и приспособлений, не всегда удается обеспечить надлежащее и стабильное формирование обратного валика. Бывают случаи, когда форма обратного валика на одном стыке изменяется в широких пределах. Поэтому стыковые швы ответственных конструкций, как правило, сваривают с двух сторон. При этом качество сварки значительно более стабильное и возможно получение однослойных (двусторонних) швов на металле большей толщины. Переход на одностороннюю сварку пока оправдан только в случае действительной

необходимости, например при изготовлении громоздких узлов, когда затруднена или вообще невозможна их кантовка, или для изделий, размеры которых не позволяют проводить сварку со второй стороны. При односторонней сварке следует в большем объеме проводить контроль качества. Возрастает время, затрачиваемое на исправление дефектов, а при некоторых условиях и на правку конструкций.

Если проплавливающая способность источника теплоты не обеспечивает возможности провара основного металла с одной или двух сторон на всю толщину, то производят специальную подготовку свариваемых кромок и многослойную сварку.

К многослойной сварке со скосом кромок даже для толщин, которые могут быть сварены в один слой, прибегают и в тех случаях, когда отсутствуют источники питания достаточной мощности, необходимо уменьшить долю основного металла в металле шва (например, при сварке среднеуглеродистых, среднелегированных и других марок стали), создать благоприятный термический цикл или снизить вероятность образования дефектов и пр. Очевидно, что такое решение вопроса менее целесообразно, чем сварка без разделки кромок, так как в этом случае искусственно удаляется часть основного металла, а образовавшаяся полость заполняется другим, более дорогим, электродным или присадочным металлом. При этом металл шва на 60–80% состоит из электродного и только на 20–40% из основного металла. Производительность сварки существенно снижается.

Применение двусторонней разделки позволяет на 30–40% сократить сечение шва. Благодаря симметричности сечения шва при двусторонней разделке значительно уменьшается угловая деформация конструкции по сравнению со сваркой одностороннего многослойного шва. Недостатками двусторонней разделки кромок являются трудность провара вершины угла, особенно при сварке вручную, и сложность обеспечения совпадения притупления в обеих кромках.

Общий принцип, который должен быть положен в основу выбора формы разделки кромок для данных конкретных условий, сводится к применению разделки минимального сечения, обеспечивающей необходимое качество шва при принятом способе сварки и имеющемся сварочном оборудовании.

Для снижения доли основного металла в металле шва кроме изменения в желаемом направлении перечисленных выше элементов режима прибегают также к многослойной сварке (вместо однослойной), сварке двумя дугами, сварке по присадочной проволоке, сварке с наполнителями и другим технологическим приемам.

Изложенные выше рекомендации взяты из книги: Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. — М. : Машиностроение, 1974. — 768 с. : ил.

Из книги: Окерблом, Н.О. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций / Н.О. Окерблом, В.П. Демянцевич, И.П. Байкова. – Л : Судпромгиз, 1963. – 602 с. : ил. (Расчетные методы) можно использовать другую группу рекомендаций.

Соединения встык обеспечивают наиболее оптимальные условия для непосредственной передачи усилий от одного элемента к другому и в максимальной степени соответствуют характеру технологического процесса сварки.

В зависимости от толщины свариваемого металла швы соединений встык выполняют с отбортовкой кромок (при толщине металла до 2,5 мм), без скоса кромок (при сварке металла толщиной до 6–8 мм) и с односторонним или двусторонним скосом кромок. Для металла толщиной от 4 до 26 мм включительно предусматривается V-образная разделка... Металл толщиной от 12 до 40 мм может свариваться при двустороннем скосе (X-образная разделка).

С целью уменьшения количества наплавленного металла и деформаций X-образную разделку следует предпочитать V-образной. Поэтому при сварке деталей толщиной более 12 мм, там, где это возможно (т. е. в тех случаях, когда не потребуется потолочная сварка), следует применять X-образную разделку.

С целью уменьшения количества наплавленного металла при толщинах более 20 мм может применяться односторонняя U-образная разделка, а при толщинах более 30 мм – двухсторонняя U-образная подготовка кромок.

Швы тавровых соединений, так же как и швы стыковых, свариваются как без скоса кромок, так и с односторонним и двухсторонним скосом кромок. Это же относится и к швам угловых соединений.

Соединения внахлестку в сварных конструкциях применяют значительно реже вследствие увеличения количества швов, расхода металла (на перекрой), а следовательно, и веса конструкции, а также из-за неблагоприятных условий передачи усилий (возникновение изгибающего момента в соединении вследствие несоосного приложения нагрузок).

4.3.2. Алгоритм выбора сварного соединения

Общий принцип, который должен быть положен в основу выбора формы разделки кромок для данных конкретных условий, сводится к применению разделки минимального сечения, обеспечивающей необходимое качество шва при принятом способе сварки и имеющемся сварочном оборудовании.

(Фрагмент выделен жирным шрифтом как основополагающая рекомендация.)

Анализ ситуации для стыковых соединений без скоса кромок

Чтобы обоснованно сделать выбор однослойного шва без скоса кромок или отказаться от него в пользу других разновидностей соединений, надо ответить как минимум на следующие вопросы.

1. Регламентируется ли ГОСТом односторонний шов без скоса кромок для выбранной толщины свариваемых кромок?

2. Регламентируется ли ГОСТом двухсторонний шов без скоса кромок для выбранной толщины свариваемых кромок?

3. Есть ли необходимость специально уменьшить долю основного металла в металле шва?

4. Имеется ли возможность сварки с двух сторон?

5. Можно ли считать сварной узел конструкции ответственным?

6. Имеется ли в наличии источник питания дуги, позволяющий выполнить односторонний однослойный шов без скоса кромок?

7. Имеется ли в наличии источник питания дуги, позволяющий выполнить двухсторонний двухслойный шов без скоса кромок?

8. Если источника питания дуги, обеспечивающего возможность сварки без скоса кромок, нет, допускаются ли затраты на его приобретение?

Для ответов на первый и второй вопросы надо в классификациях рис. 4.1 и 4.2 отметить соединения, вошедшие в табл. 3.7 ИМА (стр. 49). При положительном ответе на вопросы следует переходить к следующим вопросам. При отрицательном – рассматривать соединения со скосом кромок.

При положительном ответе на третий вопрос и возможности иметь скос кромок рассматривать соединения со скосом кромок.

Ответ на четвертый вопрос зависит от конструкции изделия. При положительном ответе следует переходить к следующему вопросу. При отрицательном – выбирается односторонний шов, ответ на пятый вопрос роли не играет.

Ответ на пятый вопрос зависит от конструкции изделия, ее назначения, условий работы сварного узла. При положительном ответе выбирается двухсторонний шов по условию более качественного формирования сварного шва и при положительном ответе на предыдущий вопрос. При отрицательном ответе могут рассматриваться две альтернативы: односторонний без скоса кромок и двухсторонний без скоса кромок.

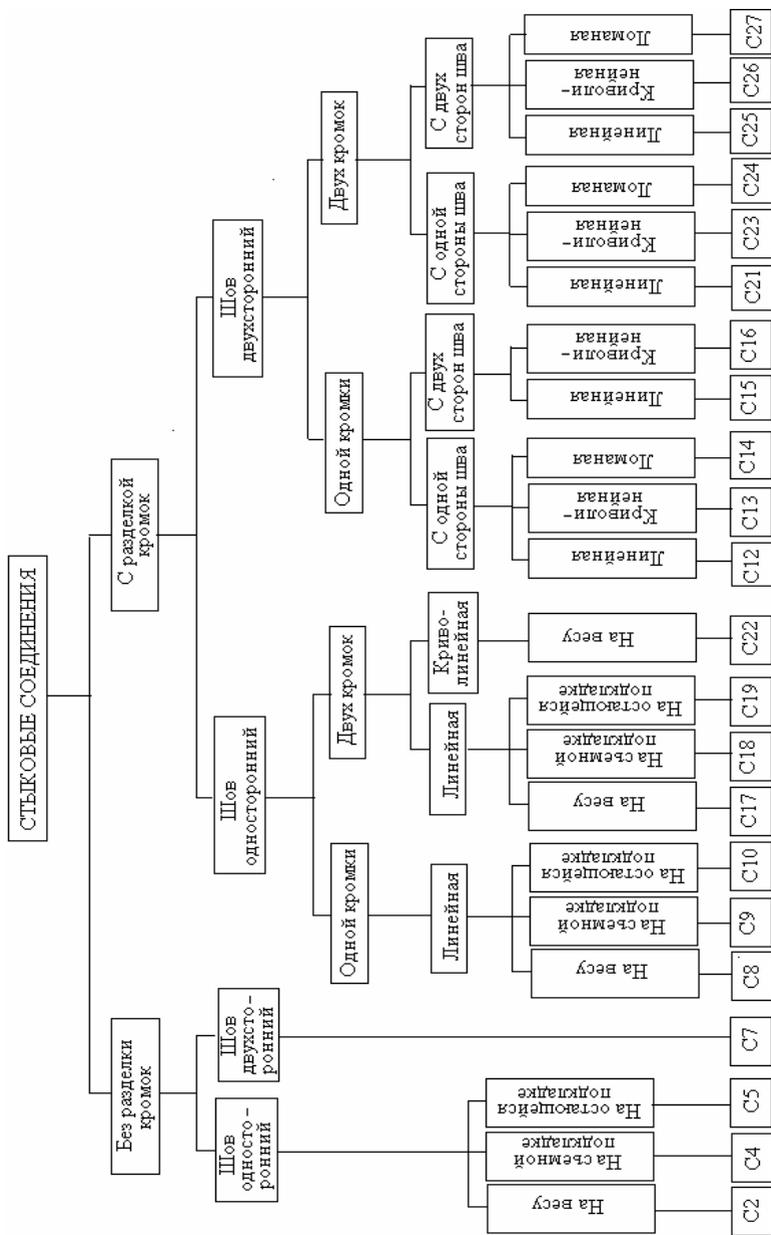


Рис. 4.1. Основные разновидности стыковых соединений по ГОСТ 14771-76 (в схеме не включены стыковые соединения с отбортовкой кромок и замковые соединения)

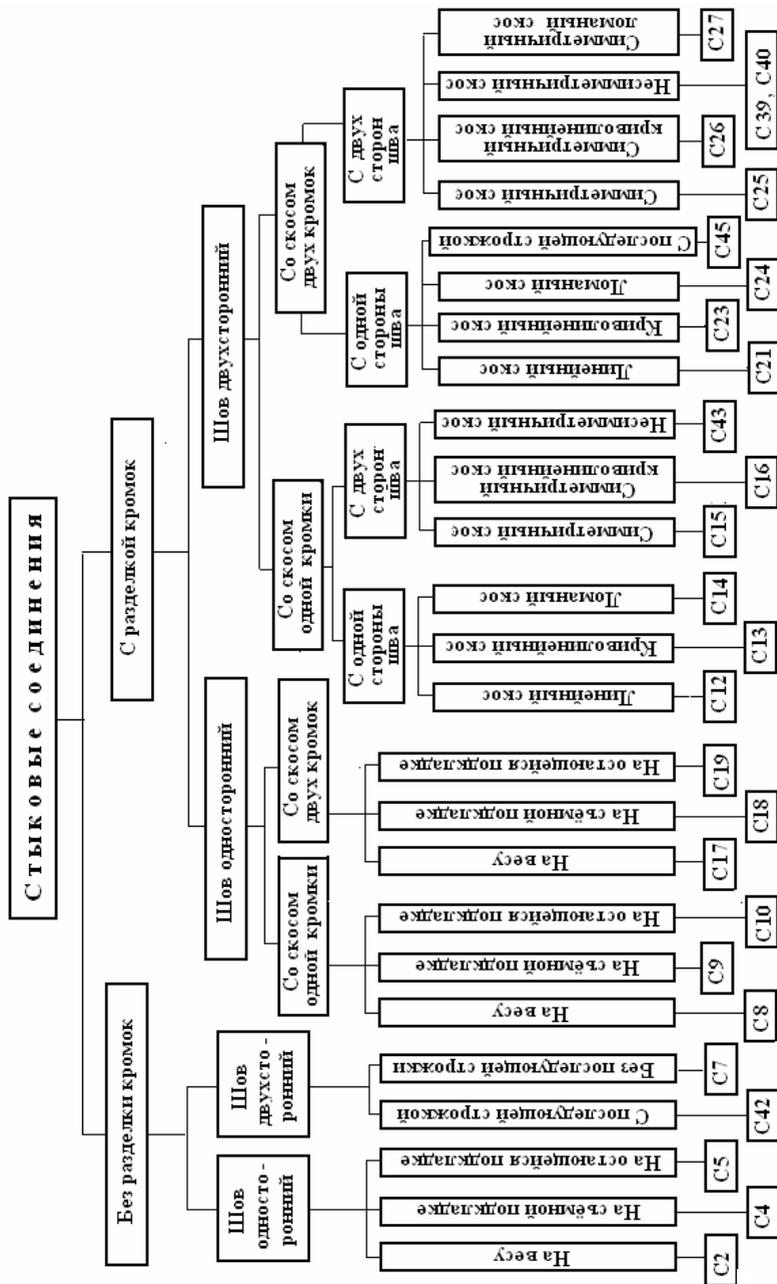


Рис. 4.2. Основные разновидности стыковых соединений по ГОСТ 5264

Для ответов на шестой и седьмой вопросы необходимо сделать попытку отыскать в справочной литературе режимы по току для соответствующей ситуации. Начать поиск можно с анализа сведений, которые имеются в параграфе 4.4.2 настоящего пособия. Если поиск даст положительный результат, т. е. будет известно значение тока, то можно сделать заключение о том, может ли быть использован для сварки имеющийся в наличии источник питания дуги. Если таковой есть, необходимо указать марку источника и его технические характеристики. В случае отрицательного ответа – переходить к восьмому вопросу.

При положительном ответе на восьмой вопрос следует указать марку источника, его технические характеристики и стоимость, которая потребуется при определении экономических показателей проекта технологии. При отрицательном ответе следует переходить к анализу соединений со скосом кромок.

Дальнейший выбор разновидности одностороннего соединения без скоса кромок можно вести, руководствуясь следующими соображениями.

Сварку на весу выбирать только в случае, если нельзя вести сварку на съемной подкладке. При этом стремиться выполнять сварку на оборудовании, оснащённом системами автоматической стабилизации параметров режима.

Остающуюся подкладку применяют, как правило, для кольцевых швов в случае, когда нельзя выполнить сварку с двух сторон.

Анализ ситуации для стыковых соединений со скосом кромок

Прежде всего надо на схемах рис. 4.1 и 4.2 отметить соединения, вошедшие в табл. 3.7, если это еще не было сделано при анализе предыдущей ситуации. Далее следует ответить как минимум на следующие вопросы.

1. Есть ли необходимость специально уменьшить долю основного металла в металле шва?
2. Имеется ли возможность сварки с двух сторон?
3. Можно ли считать сварной узел конструкции ответственным?
4. Является ли сварной шов горизонтальным?

При положительном ответе на первый вопрос следует выбирать односторонний шов, т.к. односторонняя разделка для конкретной толщины имеет большую площадь, чем разделка с двух сторон. И можно переходить к четвертому вопросу. При отрицательном ответе – переходить ко второму вопросу.

При отрицательном ответе на второй вопрос переходить к четвертому. При положительном ответе – к третьему вопросу.

При положительном ответе на третий вопрос предпочтение отдавать двухстороннему шву и переходить к четвертому вопросу. При отрицательном ответе — можно оставить обе альтернативы как конкурентоспособные для дальнейшей проработки и переходить к четвертому вопросу.

При положительном ответе на четвертый вопрос предпочтение отдать с учетом предыдущих ответов соединениям с несимметричным скосом кромок. Такой вид подготовки кромок следует рекомендовать только для специальных случаев, например при сварке швов в горизонтальном положении. Наличие нижней нескошенной кромки облегчает формирование шва. При отрицательном ответе на четвертый вопрос выбираются соединения с симметричной разделкой кромок.

Дальнейший выбор формы разделки кромок (линейная, криволинейная, ломаная) связан с анализом площади сечения разделки, трудоемкости различных разделок, с учетом возможностей заготовительного оборудования или его приобретения.

Таблица 4.1

Таблица с формулами расчета площади наплавляемого металла

Тип соединения	ГОСТ	Площадь наплавляемого металла
C2	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + 0,75 \cdot e \cdot g$
C2	ГОСТ 14771-76	
C5	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + 0,75 \cdot e \cdot g$
C5	ГОСТ 14771-76	
C7	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + 1,5 \cdot e \cdot g$
C7	ГОСТ 14771-76	
C17	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + (s - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot e \cdot g$
C17	ГОСТ 14771-76	
C19	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + (s - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot e \cdot g$
C19	ГОСТ 14771-76	
C21	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + (s - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot (e + e_1) \cdot g$
C21	ГОСТ 14771-76	
C23	ГОСТ 5264-80	$F_H = 1,57 \cdot R^2 + b \cdot c + 2 \cdot R \cdot (s - R - c) + (s - R - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot (e + e_1) \cdot g$
C23	ГОСТ 14771-76	

Тип соединения	ГОСТ	Площадь наплавляемого металла
C24	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + 2(s - h_1)(h_1 - c)tg\alpha_2 + (s - h_1)^2 +$ $+ tg\alpha_1 + (h_1 - c)^2 \cdot tg\alpha_2 + 0,75 \cdot (e + e_1) \cdot g$
C24	ГОСТ 14771-76	
C25	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + 0,5 \cdot (s - c)^2 \cdot tg\alpha + 1,5 \cdot e \cdot g$
C25	ГОСТ 14771-76	
C26	ГОСТ 5264-80	$F_H = s \cdot b + 3,14 \cdot R^2 + 4 \cdot R \cdot [0,5 \cdot (s - c) - R] +$ $+ 2 \cdot [0,5 \cdot (s - c) - R]^2 \cdot tg\alpha + 1,5 \cdot e \cdot g$
C26	ГОСТ 14771-76	
C27	ГОСТ 5264-80	$F_H = b \cdot s + 2 \cdot (h_1)^2 \cdot tg\alpha_1 + 2 \cdot (h - h_1)^2 \cdot tg\alpha_2 +$ $+ 4h_1 \cdot (h - h_1) \cdot tg\alpha_2 + 1,5 \cdot e \cdot g$
C27	ГОСТ 14771-76	

Таблица 4.2

**Возможные типы соединений с минимальным сечением
и способы сварки по узлам изделия**

Шифр узла, материал, толщина, тип соединения	Возможные разновидности соединения по ГОСТ	Способы сварки
Узел № 1, Ст 3 S = 40 мм, стыковое	ГОСТ 14771-76	
	С 25	ИП, УП
	ГОСТ 8713-79	
	С 25	АФ, МФ

4.4. Выбор способа сварки

Дальнейший выбор способа сварки начинают с уточнения количества разновидностей способов сварки, оставленных в таблице, после выбора типа соединений. Например, если обратиться к табл. 4.2, способ *ИП* можно отклонить при сварке стали 3, т. к. сварка в углекислом газе (способ *УП*) дешевле и обеспечивает требуемое качество. Но у способа *УП* есть разновидности, которые и надо включить в перечень возможных альтернатив. Для примера такие разновидности указаны в табл. 4.4 (на основе перечня способов сварки, который приведен в разделе 3).

**Возможные типы соединений с минимальным сечением
и способы сварки по узлам изделия**

Шифр узла, материал, толщина, тип соединения	Возможные разновидности соединения по ГОСТ	Способы сварки
Узел № 1, Ст 3 S = 40 мм, стыковое	ГОСТ 14771-76	
	С 25	МП, АПГ, МПС, МПП, АППС
	ГОСТ 8713-79	
	С 25	АФ, МФ

**4.4.1. Сравнительные оценки способов сварки
(Фрагменты литературных источников)**

Чтобы определиться со способом сварки по узлам, целесообразно представить некоторые сведения, доступные из литературных источников, с целью дальнейшего их анализа.

В литературе [1] (источники приведены в конце параграфа) дана следующая характеристика способа полуавтоматической сварки под флюсом.

«Основной особенностью полуавтоматической сварки под флюсом является применение сварочного тока высоких плотностей, достигающих 100–200 а/мм² вследствие использования проволоки диаметром 1,2–2 мм.

При повышении плотности тока возрастает температура дуги, увеличивается глубина провара и повышается коэффициент расплавления. Это позволяет уменьшить угол раскрытия кромок (стыковых) и размер катета (угловых) швов, что сокращает объем наплавленного металла на единицу длины шва. В результате повышается производительность сварки, а расход энергии на 1 м шва сокращается на 30–40%.

Полуавтоматическая сварка под флюсом повышает качество швов, снижает расход электроэнергии, флюса и проволоки. Для осуществления ее требуется сварочная аппаратура упрощенной конструкции.

Полуавтоматическая сварка широко применяется в судостроении, машиностроении, при выполнении монтажных и прочих работ, в тех случаях, когда приходится сваривать большое количество коротких прямолинейных и криволинейных стыковых, угловых и тавровых швов на металле толщиной от 1 до 6 мм, а применение сварочных автоматов затруднено.

Полуавтоматическую сварку можно производить и без флюса, применяя в этом случае порошковую проволоку соответствующего размера и марки или голую электродную проволоку, содержащую редкоземельные элементы (лантан и цезий), обеспечивающие устойчивое горение дуги».

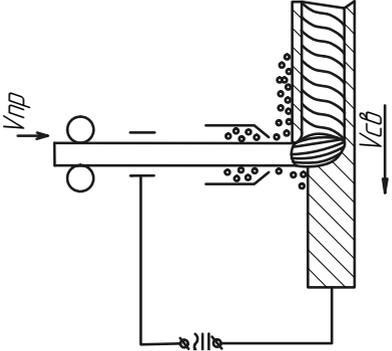
По литературе [2] – «...при сварке под флюсом обеспечивается высокое и стабильное качество сварки. Это достигается за счет надежной защиты металла шва от воздействия кислорода и азота воздуха, однородности металла шва по химическому составу, улучшения формы шва и постоянства его размеров. В результате обеспечивается меньшая вероятность образования непроваров, подрезов и других дефектов формирования шва и отсутствие перерывов в процессе сварки, вызванных необходимостью смены электродов... Отпадает необходимость в защите глаз и лица рабочего и несколько уменьшается количество выделяемых в процессе сварки вредных газов, что улучшает условия труда... Отсутствие брызг – серьезное преимущество сварки под флюсом, так как отпадает надобность в трудоемкой операции очистки от них поверхности свариваемых деталей».

В литературе [3] даны характеристики электродуговой автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом и в среде защитного газа (табл. 4.5).

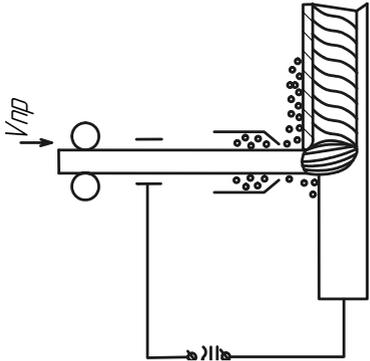
В литературе [4] дано описание преимуществ и недостатков полуавтоматической электродуговой сварки в среде углекислого газа (табл. 4.6).

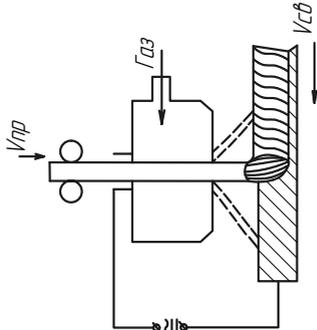
Таблица 4.4

Характеристика способов сварки

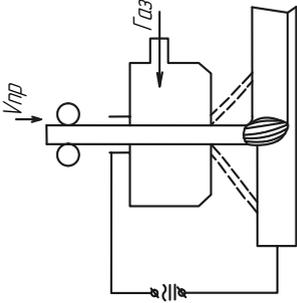
Эскиз процесса	Область применения	Достоинства	Недостатки
<p data-bbox="244 1118 288 1433">Электродуговая автоматическая сварка под флюсом</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Все отрасли металлообработки — от мелкосерийного до массового. 2. По типу производства — от мелкосерийного до массового. 3. По типу свариваемых металлов — малоуглеродистые стали толщиной от 3 до 100 мм. 4. Сварка прямых и угловых швов, стыковых и угловых калибром 5–50 мм протяженностью от 0,8 м и более со свободным выходом и выходом сварочной головки для начала и конца шва; сварка кольцевых швов при толщинах до 100–120 мм. 5. Наплавочные работы, в том числе широкоугольная наплавка ленточным электродом или гребенкой электродов, или несколькими головками одновременно. 6. В перспективе — высокопроизводительная сварка ленточным электродом 	<ol style="list-style-type: none"> 1. По сравнению с известными способами сварки плавлением самая высокая производительность, превышающая одну сварку в 4–6 раз при однодуговом процессе и в 15–20 раз при многодуговом процессе. 2. Высокое качество и хороший внешний вид сварных соединений. 3. Малый удельный расход электрода металла и электроэнергии вследствие меньшего сечения шва по сравнению с плавящим электродом, а также уменьшения потерь на угар, разбрызгивание и отгарки. 4. Высокий уровень локальной механизации сварочного процесса и возможность комплексной его автоматизации. 5. Улучшение условий труда, так как отпадает необходимость в защите глаз и лица сварщика от действующей дуги 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Невозможность сваривать швы или производить наплавку в вертикальном или наклонном положении. 2. Невозможность сварки швов малого калибра, менее 3 мм. 3. Сложность и громоздкость сварочного оборудования по сравнению с ручной и полуматричной сваркой и, как следствие, меньшая маневренность и мобильность. 4. Необходимость более тщательной подготовки кромок и более точной сборки деталей под сварку. 5. Затруднен контроль за направлением дуги по шву из-за невидимости дуги. 6. Невозможность сварки стыковых швов на весу, т. е. без подкладки или предварительной подварки корня шва. 7. Загрязнение воздуха флюсовой пылью

Продолжение табл. 4.4

Эскиз процесса	Область применения	Достоинства	Недостатки
<p data-bbox="232 1098 281 1455">Электродуговая полуавтоматическая сварка под флюсом</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="232 767 281 1075">1. Единичное и мелкосерийное производство. <li data-bbox="288 767 512 1075">2. Сварка коротких или криволинейных швов среднего калибра (6–15 мм), недоступных или неудобных для автоматической сварки, в то же время позволяющих расположить их в горизонтальном положении, желательна в лодочку. <li data-bbox="468 767 512 1075">3. Сварка прерывистых швов в судостроении и других отраслях 	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="232 448 333 730">1. Повышенная по сравнению с ручной сваркой производительность – в среднем в 1,5 раза. <li data-bbox="341 448 434 730">2. Уменьшенный расход электрода металла вследствие отсутствия отарков и разбрызгивания. <li data-bbox="442 448 565 730">3. Высокая по сравнению с автоматической сваркой равномерность и мобильность, приближающиеся к ручной сварке. <li data-bbox="573 448 666 730">4. Высокое качество швов и хороший товарный вид, характерный для сварки под флюсом 	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="232 140 303 427">1. Невозможность сваривать вертикальные или наклонные швы. <li data-bbox="311 140 487 427">2. Затруднена операция ручного ведения дуги по шву, так как дуга невидима. Из-за этого возможны смещения дуги от оси шва и непровары (если нет копирного приспособления). <li data-bbox="495 140 588 427">3. Невозможность сварки стыковых швов на весу, т. е. без подкладки или предварительной подварки. <li data-bbox="595 140 688 427">4. Повышенная утомляемость сварщика из-за манипулирования ручным держателем и шлангом. <li data-bbox="696 140 767 427">5. Невозможность автоматизации технологического процесса

Эскиз процесса	Область применения	Достоинства	Недостатки
<p data-bbox="207 1118 258 1425">Электродуговая автоматическая сварка в среде защитных газов</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. По типу производства – в серийном и массовом производстве. 2. При изготовлении конструкций из тонколистовых высоколегированных сталей, алюминиевых и титановых сплавов. 3. Сварка швов, которые нельзя или нецелесообразно располагать в горизонтальном положении, например, неповоротных стыков труб. 4. Прихватка собранных деталей или заварка беглым швом корня шва на весу. 5. Наплавочные работы с малым термическим воздействием на основной металл. 6. Сварка неплавящимся электродом оплавления кромок без при-сачконого металла, например, при сварке каннестр. 7. Производство тонкостенных изделий с малокалиберными швами 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность сваривать швы в любом пространственном положении. 2. Повышенная по сравнению с ручной сваркой производительность в 2–2,5 раза при токах до 500 А. 3. Наиболее эффективна сварка порошковыми проволоками АН-4 и АН-5 в среде CO₂. 4. Возможность сварки малой толщины, которые под флюсом сваривать нельзя. 5. Удобный контроль за направлением дуги по шву – дуга не закрыта флюсом. 6. Меньшее по сравнению с автоматической сваркой под флюсом термическое воздействие на основной металл. 7. При сварке металла толщиной до 3 мм производительность выше, чем при сварке под флюсом. 8. Возможность сварки стыковых швов на весу 	<ol style="list-style-type: none"> 1. При сварке крупнокалиберных швов производительность примерно вдвое меньше, чем при автоматической сварке под флюсом. 2. Плохой внешний вид швов. 3. Большое разбрызгивание металла при сварке плавающим электродом на токах 250–450 А. 4. Этого недостатка лишена сварка порошковой проволокой, а также сварка сплошной проволокой в атмосфере аргона

Продолжение табл. 4.4

Эскиз процесса	Область применения	Достоинства	Недостатки
<p data-bbox="241 1094 286 1453">Электродуговая полуавтоматическая сварка в среде защитных газов</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="241 754 286 1074">1. В единичном, мелкосерийном, реже в серийном производстве. <li data-bbox="288 754 415 1074">2. Сварка в аргоне (или в смеси аргона с другими газами) тонколистовых изделий из высоколегированных сталей, а также алюминиевых и титановых сплавов. <li data-bbox="417 754 516 1074">3. Преимущественно для сварки малокалиберных швов в любом пространственном положении; стыковых швов — на весу 	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="241 451 362 727">1. Повышение производительности по сравнению с ручной в 1,2–1,5 раза, а при сварке порошковой проволокой — в 1,6–2,0 раза. <li data-bbox="365 451 441 727">2. Возможность сварки в любом пространственном положении. <li data-bbox="443 451 490 727">3. Возможность сварки стальных швов на весу. <li data-bbox="492 451 591 727">4. Возможность и целесообразность сварки малокалиберных швов и изделий малой толщины. <li data-bbox="593 451 672 727">5. Высокая маневренность и мобильность по сравнению с автоматической сваркой. <li data-bbox="674 451 750 727">6. Возможность визуального контроля за направлением дуги по шву 	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="241 132 465 427">1. Сильное разбрызгивание металла при сварке на токах 200–400 А и необходимости удаления брызг с поверхности изделия. Этот недостаток не относится к сварке порошковой, а также сплошной проволокой в специальной смеси газов или в аргоне. <li data-bbox="468 132 566 427">2. Низкая производительность труда, в отдельных случаях не превышает производительность ручной сварки. <li data-bbox="568 132 672 427">3. Затруднено использование на открытом воздухе — на ветру из-за сдувания защитного газа. <li data-bbox="674 132 721 427">4. Внешний вид швов хуже, чем при сварке под флюсом

**Преимущества и недостатки полуавтоматической
электродуговой сварки в среде углекислого газа**

Преимущества способа	Недостатки способа
<p>1. Снижение себестоимости сварного шва по сравнению с другими способами электродуговой сварки благодаря:</p> <p>1) меньшей трудоемкости сварочной операции, так как коэффициент наплавки и глубина проплавления основного металла несколько выше, чем при сварке под флюсом, <u>отсутствует операция удаления шлака между слоями наплавленного металла</u> и требуется меньший угол скоса кромок;</p> <p>2) низкой стоимости углекислого газа;</p> <p>3) меньшему разбрызгиванию основного металла по сравнению с ручной сваркой</p> <p>2. Облегчение труда сварщиков благодаря механизации сварки швов, выполняемых при ручной сварке в неудобных пространственных положениях.</p> <p>3. Улучшение качества и внешнего вида соединений по сравнению со сваркой под флюсом ввиду:</p> <p>1) низкого содержания водорода в сварных швах и слабой чувствительности соединений к ржавчине;</p> <p>2) хорошего формирования и плотности сварного шва, малой чувствительности наплавленного металла к образованию пор;</p> <p>3) большой эластичности электрической дуги;</p> <p>4) отсутствия кремневосстановительного процесса, вследствие чего не требуется ограничивать верхний предел содержания кремния в основном металле;</p> <p>5) наличия открытой дуги, обеспечивающей видимость свариваемых кромок, что имеет большое значение для повышения качества сварки труднодоступных швов</p>	<p>1. Дополнительные расходы по некоторым элементам себестоимости по сравнению с другими способами сварки вследствие:</p> <p>1) повышенных требований к точности подготовки свариваемых кромок ввиду глубокого проплавления основного металла;</p> <p>2) трудности сварки деталей средней толщины на повышенных режимах в связи с протеканием в зазоры жидкого металла;</p> <p>3) большего разбрызгивания металла, чем при сварке под флюсом и аргонодуговой сварке;</p> <p>4) необходимости очистки сварного шва и основного металла после сварки;</p> <p>5) невозможности питания электрической дуги наиболее экономичным переменным током</p> <p>2. Выделение окиси углерода, что вызывает затраты на вытяжную вентиляцию, а иногда (например, при сварке в закрытых отсеках и сосудах) исключает возможность применения этого способа</p> <p>3. Ухудшение в некоторых случаях качества сварных соединений ввиду возможности науглероживания сварных швов</p>

В литературе [1] дана следующая характеристика процесса сварки в углекислом газе:

«Преимущества сварки в углекислом газе перед сваркой под флюсом состоят в том, что сварщик может наблюдать за ходом сварки и горением дуги, которая не закрыта флюсом; отсутствуют приспособления для подачи и отсоса флюса, усложняющие сварочное оборудование; отпадает необходимость в последующей очистке швов от шлака и остатков флюса, что особенно важно при многослойной сварке.

Основными достоинствами способа сварки в углекислом газе являются:

1. Хорошее использование тепла сварочной дуги, вследствие чего обеспечивается высокая производительность сварки.

2. Высокое качество сварных швов.

3. Возможность сварки в различных пространственных положениях с применением аппаратуры для полуавтоматической и автоматической сварки.

4. Низкая стоимость защитного газа.

5. Возможность сварки металла малых толщин и сварки электродозаклепками.

6. Возможность сварки на весу без подкладки.

Производительность сварки в углекислом газе в 1,5–4 раза выше, чем производительность ручной сварки покрытыми электродами, и в 1,5 раза выше, чем при сварке под флюсом.

Стоимость наплавки 1 кг металла при сварке в углекислом газе в 2–2,5 раза меньше, чем при ручной сварке, и на 10–20% меньше, чем при автоматической сварке под флюсом. Сварка в углекислом газе широко применяется в промышленности и во многих случаях успешно вытесняет не только ручную, но даже полуавтоматическую и автоматическую дуговую сварку под флюсом.

Наибольшее применение сварка в среде углекислого газа нашла в судостроении, машиностроении, при сварке трубопроводов, в том числе магистральных, при выполнении монтажных работ, изготовлении котлов и аппаратуры из теплоустойчивых и легированных сталей, заварке дефектов стального литья, наплавке и др.

Однослойная сварка под флюсом наиболее целесообразна для соединения металла толщиной 5–42 мм. Дальнейшее увеличение толщины металла, свариваемого в один слой, ограничивается сложностью обеспечения нормального формирования шва большого сечения, а не отсутствием источников нагрева необходимой мощности. Плохое формирование шва проявляется в неравномерном бугристом очертании его поверхности, узком и глубоком проваре, способствующем снижению стойкости металла шва против образования кристаллизационных трещин».

Эффективным средством повышения производительности и качества сварочных работ является механизированная и автоматическая сварка порошковой проволокой. Причем по данным [5] наибольшая производительность достигается при сварке порошковой проволокой в углекислом газе (проволока ПП-АН8, диаметр 3 мм, время наплавки 1 кг металла 0,14 часа). Правда, это время соизмеримо для случая сварки проволокой сплошного сечения, которое составляет 0,18 часа для проволоки Св-08Г2С диаметром 2 мм, но, учитывая, что в этом случае затраты на устранение брызг металла больше, предпочтение можно отдать сварке порошковой проволокой...

Из сопоставления показателей электродов ОММ-5, АНО-3, АНО-4 и АНО-5 и порошковой проволоки ПП-АН1 (табл. 72) [5] видно, что производительность труда сварщиков при полуавтоматической сварке этой проволокой в 1,8–4,2 раза выше, чем при сварке покрытыми электродами. Себестоимость 1 кг металла при сварке проволокой ПП-АН1 уменьшается по сравнению с ручной на 10–40%.

Анализ показателей ручной сварки электродами УОНИ-13/55, ДСК-50, СМ-11 и полуавтоматической порошковой проволокой ПП-АН3 и ПП-АН7 (табл. 73) [5] показывает, что порошковая проволока обеспечивает повышение производительности труда в 2–5 раз. Себестоимость 1 кг металла, наплавленного проволокой ПП-АН3, почти на 40% ниже, чем при ручной сварке электродами УОНИ-13/55.

Проплавление основного металла при сварке порошковой проволокой более глубокое по сравнению со сваркой покрытыми электродами. Поэтому за счет уменьшения катетов швов при соблюдении условия равнопрочности сварных соединений эффективность применения порошковой проволоки может быть значительно увеличена.

В табл. 74 [5] приведен расчет себестоимости 1 кг металла, наплавленного в углекислом газе порошковой проволокой ПП-АН4 диаметром 2,5 мм и ПП-АН8 диаметром 3,0 мм, а также проволокой сплошного сечения марки Св-08Г2С диаметром 1,6 и 2,0 мм. Себестоимость 1 кг металла, наплавленного порошковой проволокой, несколько выше, чем себестоимость металла, наплавленного проволокой Св-08Г2С. Это объясняется более высокой ценой порошковой проволоки. Однако следует отметить, что в расчетах не учтено время, затрачиваемое на удаление брызг электродного металла и механическую обработку швов, которое при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 и 2,0 мм составляет значительную долю всей трудоемкости сварочных работ.

Таблица 74 [5]

Показатели	Полуавтоматическая сварка проволокой Св-08Г2С	Полуавтоматическая сварка порошковой проволокой ПП-АН4 и ПП-АН8
Сила тока, <i>a</i>	400/500	500/570
Напряжение дуги, <i>в</i>	28/32	31/35
Скорость подачи электродной проволоки, <i>м/ч</i>	600/400	330/360
Коэффициент наплавки, <i>г/а-ч</i>	18,6/17,5	18,5/21,5
Время наплавки 1 кг металла, <i>ч</i>	0,224/0,190	0,18/0,132
Заработная плата с отчислениями, руб.	0,126/0,107	0,101/0,073
Затраты на материалы, руб.	0,337/0,301	0,623/0,558
Затраты на электроэнергию, руб.	0,084/0,102	0,093/0,090
Амортизационные отчисления, руб.	0,041/0,035	0,032/0,025
Расходы по текущему ремонту и обслуживанию оборудования (20% его себестоимости), руб.	0,025/0,022	0,020/0,015
Итого себестоимость по статьям затрат, руб.	0,613/0,567	0,869/0,761
Для ПП-АН8 данные в числителе		

Так, на Днепропетровском заводе им. Бабушкина при изготовлении отдельных металлоконструкций двух сварщиков обслуживает один рабочий по зачистке и доводке сварных швов. При массовом производстве трудоемкость зачистки швов от брызг составляет 30–35% всего объема сварочных работ. На киевском заводе «Красный экскаватор» при замене проволоки Св-08Г2С порошковой ПП-АН8 трудоемкость сварки ковша экскаватора уменьшается только за счет устранения операции по очистке швов от брызг на 25–30%.

Если учесть эти трудозатраты и принять во внимание более высокое качество швов, обеспечиваемое проволокой ПП-АН8, то применение последней (особенно больших диаметров – 2,5 и 3,0 мм) эффективнее и экономичнее даже по сравнению с проволокой Св-08Г2С».

Результаты анализа и принятых решений по разновидностям соединений и способам сварки окончательно целесообразно оформить в виде таблицы (см., например, табл. 4.6).

Таблица 4.6

**Возможные типы соединений с минимальным сечением
и способы сварки по узлам изделия**

Шифр узла, материал, толщина, тип соединения	Возможные разновидности соединения по ГОСТ	Способы сварки
Узел № 1, Ст 3 S = 40 мм, стыковое	ГОСТ 14771-76	
	С 25	АПГ
	ГОСТ 8713-79	
	С 25	АФ

Литература

1. Глизманенко, Д.Л. Сварка и резка металлов / Д.Л. Глизманенко. – 6-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1967. – 448 с. : ил.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с. : ил.
3. Севбо, П.И. Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства / П.И. Севбо. – Киев : Техніка, 1974. – 416 с. : ил.
4. Фаерман, А.И. Выбор экономичного варианта процесса сварки / А.И. Фаерман. – М.-Л. : Машгиз, 1962. – 127 с.
5. Походня, М.К. Сварка порошковой проволокой / М.К. Походня, А.М. Ступель, В.Н. Шлепаков. – Киев : Наукова думка. – 1972. – 223 с. : ил.

**4.4.2. Перечень наименований таблиц из литературных источников
по режимам сварки**

Дальнейшее сравнение вариантов требует расчета экономических показателей, для которых необходимо определиться с режимами по способам сварки. Для облегчения поиска литературных источников, в которых есть данные по режимам, предложен следующий перечень наименований таблиц.

Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.

Табл. 9–9	Режимы автоматической односторонней и двусторонней сварки под флюсом стыковых швов низкоуглеродистых сталей толщиной 3–50 мм на флюсовой подушке без разделки кромок с обязательным зазором
Табл. 9–10	Режимы автоматической сварки низкоуглеродистых сталей толщиной более 17 мм под флюсом
Табл. 9–11	Режимы полуавтоматической сварки низкоуглеродистых сталей толщиной 3–16 мм под флюсом двусторонних стыковых швов
Табл. 9–13	Режимы автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом угловых швов «в лодочку» низкоуглеродистых сталей с катетом шва 6–12 мм
Табл. 9–14	Режимы автоматической и полуавтоматической сварки низкоуглеродистых сталей под флюсом угловых швов в угол с катетами шва 4–7 мм
Табл. 9–16	Режимы автоматической и полуавтоматической сварки низкоуглеродистых сталей толщиной 1–6 мм (также толщина металла не менее катета шва) в углекислом газе
Табл. 9–17	Режимы полуавтоматической и автоматической сварки стыковых швов низкоуглеродистых сталей толщиной 0,6–12 мм в углекислом газе
Табл. 9–22	Режимы различных способов сварки термоупрочненной стали толщиной 12 мм
Табл. 9–23	Режимы различных способов сварки оцинкованного металла толщиной 1,6–6 мм
Табл. 10–9	Режимы сварки под флюсом среднелегированных сталей низколегированной проволокой. Для стыковых швов толщиной 6–12 мм и угловых с катетом 4–12 мм
Табл. 10–11	Режимы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом среднелегированных высокопрочных сталей с применением поперечных перемещений и флюсов-паст для толщин 2–5,5 мм
Табл. 10–12	Типовые режимы электрошлаковой сварки среднелегированных сталей толщиной 30–200 мм

Табл. 10–13	Типовые режимы электроннолучевой сварки сталей толщиной 2,2–30 мм
Табл. 10–28	Режимы сварки в углекислом газе коррозионностойкой аустенитной стали толщиной 1–3 мм аустенитной проволокой
Табл. 11–3	Режимы однопроводной автоматической аргонодуговой сварки стыковых соединений алюминиевых сплавов толщиной 1,5–16 мм неплавящимся (вольфрамовым) электродом

Потапьевский А.Г.

Сварка в защитных газах плавящимся электродом. —

М. : Машиностроение, 1974. — 240 с.

Табл. 16	<p>Режимы полуавтоматической сварки вертикальных швов алюминиевых и медных сплавов, титана и стали X18H9T в инертных газах. Стыковые соединения алюминиевых сплавов без разделки кромок (2,5–5 мм), с односторонней разделкой (10 мм), с двусторонней разделкой (14–25 мм); тавровые без разделки кромок с односторонней сваркой (6–8 мм), с двусторонней сваркой (14–25 мм), с двусторонней разделкой кромок (10–25 мм). Стыковые соединения медных сплавов с односторонней разделкой кромок (8–16 мм) и с двусторонней (20–24 мм). Стыковые соединения титана с односторонней разделкой кромок (3–16 мм) и двусторонней (2–6, 18–48 мм), тавровые без разделки кромок и двусторонней сваркой (3–10), односторонней разделкой и двусторонней сваркой (18–46 мм), двусторонней разделкой (4–16 мм).</p> <p>Стыковые соединения стали X18H9T без разделки кромок (1,5–6 мм), с односторонней разделкой (6–25 мм), тавровые без разделки кромок и двусторонней сваркой (1,5–25 мм)</p>
Табл. 17	<p>Режимы сварки горизонтальных швов алюминия без разделки кромок (2–4 мм), с разделкой одной кромки (16 мм) и стали X18H9T без разделки кромок (1,5–3 мм) и с разделкой одной кромки (10 мм) в инертных газах. Постоянный ток, обратная полярность</p>

Табл. 18	<p>Режимы импульсно-дуговой сварки потолочных швов алюминиевых и медных сплавов и стали Х18Н9Т в аргоне. Стыковые соединения алюминиевых сплавов без разделки кромок (2,5–3) и с разделкой обеих кромок с двухпроходной сваркой (8–10 мм), тавровых без разделки кромок однопроходной сваркой (4–6 мм) и многопроходной (14–25 мм). Стыковые соединения медных сплавов без разделки кромок (4–6 мм) и с разделкой кромок с двухпроходной сваркой (8–16 мм); тавровые без разделки кромок с однопроходной двусторонней сваркой (4–6 мм) и с двусторонней разделкой с многопроходной сваркой (8–16 мм). Стыковые соединения стали Х18Н9Т без разделки кромок (1,5–2 мм) и с односторонней разделкой с двухпроходной сваркой (8–10 мм); тавровые без разделки кромок с односторонней сваркой (3–6 мм) и с односторонней разделкой с многопроходной сваркой в гелии (8–10 мм). Постоянный ток, обратная полярность</p>
Табл. 22	<p>Режимы сварки алюминиевых сплавов в аргоне в нижнем положении. Стыковые соединения на подкладке без разделки кромок (2,5–3 и 6 мм) и с разделкой (4 мм и 12–16 мм); без разделки с двусторонней сваркой (8–10 мм) и с двусторонней Х-образной разделкой (20–30 мм). Тавровые без разделки кромок с односторонней сваркой (2,5–8 мм). Постоянный ток, обратная полярность</p>
Табл. 23	<p>Режимы сварки сплавов титана плавящимся электродом. Стыковые соединения без разделки кромок (6–8 мм), с односторонней разделкой обеих кромок (3 и 6 мм) и с двусторонней сваркой без разделки кромок (15–20 мм). Тавровые соединения без разделки кромок с односторонней и двусторонней сваркой (3–10 мм). Угловое соединение без разделки кромок (12–16 мм). Полярность обратная. (При сварке стыковых соединений с односторонней разделкой кромок толщиной 3 и 6 мм в смеси аргона и гелия полярность прямая)</p>
Табл. 24	<p>Режимы сварки плавящимся электродом в защитных газах в нижнем положении. Стыковые соединения на подкладке без разделки кромок (0,8–1 мм) и с односторонней разделкой обеих кромок (2–3 мм), с двусторонней без подкладки (12–20 мм). Тавровые соединения с односторонней сваркой без разделки кромок (0,8–1 и 5–10 мм). Постоянный ток, обратная полярность. Проволоки марок Бр.КМц3-1 и МНЖ5-1</p>

Табл. 25	Режимы сварки латуни ЛМНЖ 55-3-1 и бронзы Бр.АМц9-2 и Бр.АЖМц9-5-2 в аргоне в нижнем положении. Стыковые соединения на подкладке без подготовки кромок (для односторонней сварки 3 мм, двусторонней 8–10 мм) и с разделкой обеих кромок (8–10 мм), с односторонней разделкой без подкладки (14–16 мм) и с Х-образной разделкой кромок (24–26 мм). Угловое соединение без разделки кромок (4–5 мм). Постоянный ток, обратная полярность, проволока Бр.АМЦ9-2
Табл. 26	Режимы сварки сталей типа 18-8. Стыковые соединения без разделки кромок (1,5–2 мм), с односторонней разделкой (с однопроходным швом 5–8 мм, с многопроходным 12–25 мм). Тавровое соединение с односторонней сваркой без разделки кромок (3–8 мм). Постоянный ток, полярность обратная
Табл. 36	Режимы сварки в углекислом газе стыковых соединений низкоуглеродистых сталей и низколегированных сталей в нижнем положении. Без разделки кромок (однопроходный шов 0,8–3 мм, двухпроходный 4–14 мм), с односторонней разделкой кромок (двухпроходный шов 16–18 мм, трех-, четырехпроходный 20 мм), с Х-образной разделкой (трехпроходный шов 24 мм, четырехпроходный 24 и 32 мм). Постоянный ток, полярность обратная
Табл. 37	Режимы сварки поворотных стыковых швов диаметром 50–400 мм в CO_2 и в смеси $\text{Ar} + 25\% \text{CO}_2$. Постоянный ток, обратная полярность, электрод Св-08Г2С
Табл. 38	Режимы сварки нахлесточных соединений 0,8 + 0,8 мм – 5 + 5 мм как в нижнем, так и в вертикальном положении. Постоянный ток, обратная полярность, проволока Св-08Г2С, Св-08Г2С
Табл. 39	Режимы сварки угловых швов без разделки кромок в защитных газах в нижнем, вертикальном и потолочном положениях. В нижнем положении меньшая толщина первой детали 0,8 мм, большая 6 мм; меньшая толщина второй детали 1 мм, большая 14 мм. В вертикальном положении меньшая толщина первой детали 0,8 мм, большая 4 мм; меньшая толщина второй 1 мм, большая 6 мм. В потолочном положении меньшая толщина первой детали 0,8 мм, большая 2 мм; меньшая толщина второй детали 1 мм, большая 3 мм. Постоянный ток, обратная полярность, проволока Св-08Г2С, Св-08Г2С

Табл. 40	Режимы сварки в углекислом газе с смеси Ag + 25% CO ₂ углеродистых сталей в вертикальном положении. Стыковые соединения без разделки кромок (0,8–3 мм), с односторонней разделкой обеих кромок (4–10, 20 мм), с двусторонней разделкой обеих кромок (16–20, 32 мм). Тавровые соединения без разделки кромок (0,8–1 мм с односторонней сваркой, 3–6 мм при двусторонней), с двусторонней разделкой (7–12, 20 мм). Постоянный ток, обратная полярность, проволока Св-08Г2С
Табл. 41	Режимы сварки в углекислом газе горизонтальных швов на углеродистых сталях проволокой Св-08Г2С со свободным формированием шва. Без разделки кромок (0,8–8 мм), с односторонней разделкой одной кромки (10–22 мм). Полярность обратная
Табл. 42	Режимы сварки в углекислом газе швов в потолочном положении. Соединения без разделки кромок (при однопроходной сварке 0,8–5 мм), и с разделкой обеих кромок (3–5 мм при однопроходной сварке, 6–10 мм при двухпроходной, 12–16 мм при четырехпроходной)
Табл. 45	Режимы наплавки в углекислом газе деталей диаметром 10–40 мм. Постоянный ток, обратная полярность

Походня М.К., Ступель А.М., Шлепаков В.Н.
Сварка порошковой проволокой. — Киев : Наукова думка, 1972

Табл. 53	Режимы сварки проволокой ПП-1ДСК (диаметром 2,2 мм) стыковых соединений с односторонней разделкой кромок (8–18 мм) и двусторонней (20–30 мм), тавровых соединений без разделки кромок с двусторонней сваркой (5–16 мм), внахлест (5–8 мм) и угловых соединений без разделки кромок (8–18 мм)
Табл. 55	Режимы сварки проволокой марки ПП-АН3 диаметром 3 мм. Соединения и толщины металла те же, что и в табл. 53
Табл. 56	Режимы сварки горизонтальных швов порошковой проволокой ПП-2ДСК диаметром (2,35 мм). Толщина металла при односторонней разделке одной кромки 10–14 мм (зазор 2–3 мм). При двусторонней разделке одной кромки 16–26 мм (зазор 2–3 мм)
Табл. 57	Режимы сварки различных соединений на вертикальной плоскости проволокой ПП-АН7 (если сварка выполняется «снизу вверх», то пригодно также для проволоки ПП-АН11). Толщина металла при горизонтальном стыковом шве с разделкой кромок (заполняющие швы) 10–30 мм, то же облицовочный шов 10–30 мм. При стыковом шве с разделкой кромок и вертикальном тавровом шве толщина 4–20 мм

Табл. 59–62	Режимы сварки проволоками марок ПП-АН8 (диаметром 2–3 мм), ПП-АН10 (диаметром 2–2,3 мм), ПП-АН4 (диаметром 2–2,5 мм) и ПП-АН9 (диаметром 2,2–2,5 мм) с дополнительной защитой углекислым газом
Табл. 64	Режимы при сварке некоторых соединений проволокой ПП-АН4 диаметром 2,2 мм. Соединения и толщины те же, что и в табл. 53
Табл. 65	Режимы сварки проволокой ПП-АН8 (диаметр 2–3 мм) стыковых соединений без разделки кромок (толщина металла 5–8 мм), с односторонней разделкой (толщина металла 8–12, 40 мм и более) и с двусторонней разделкой кромок (толщина металла 12–25, 40 мм и более)

Сварка и резка в промышленном строительстве : в 2 т. / Б.Д. Малышев [и др.] ; под ред. Б.Д. Малышева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1989. — Т. 1. — 590 с. : ил. — (Справочник строителя)

Табл. IX.3	Режимы ручной дуговой сварки стыковых соединений (в нижнем положении) толщиной 1–5 мм
Табл. IX.5	Режимы ручной дуговой сварки швов в различных положениях электродами АНО-3,4,6; СМ-11; ДСК-50; УОНИ 13/45,13/55
Табл. IX.7	Режимы ручной дуговой сварки стыковых соединений из тонколистовой стали толщиной 0,5–1,5 мм
Табл. IX.8	Характеристика сварки с глубоким проплавлением стыковых соединений без скоса кромок (односторонняя толщиной 4–8 мм, двусторонняя 8–16 мм)
Табл. XII.9	Режимы электрошлаковой сварки с порошкообразным присадочным материалом для металла толщиной 30–60 мм
Табл. XII.11	Режимы электрошлаковой сварки на переменном и постоянном токе обратной полярности проволочным электродом диаметром 5 мм прямолинейных стыков низколегированных сталей 16ГС, 22К, 09Г2С толщиной 40–60 мм и 100–120 мм (при глубине шлаковой ванны 45–50 мм, скорости поперечных колебаний $(20–22) \times 10^3$ м/с и времени выдержки у ползунов 6–7 с.)

Табл. XV.3	Режимы автоматической сварки под флюсом стыковых швов металлоконструкций на флюсовой подушке. Односторонних и двусторонних без разделки кромок (толщиной 10 – 16 мм) и многослойных, одно- и двусторонних, с У- и Ч-образной подготовкой кромок (толщиной более 17 мм)
Табл. XV.4	Режимы сварки под флюсом угловых швов металлоконструкций «в лодочку» с катетом шва 6–12 мм
Табл. XV.5	Режимы сварки в углекислом газе угловых швов металлических конструкций с катетом шва 1,2–13 мм
Табл. XV.9	Режимы двусторонней сварки под флюсом стыковых соединений из стали высокой прочности 16Г2АФ, толщиной 10–20 мм – без разделки кромок, толщиной 25–50 мм – с Х-образной разделкой
Табл. XV.10	Режимы двусторонней сварки под флюсом с применением порошкообразного присадочного материала стыковых соединений из стали высокой прочности 16Г2АФ толщиной 10–50 мм. Диаметр проволоки 4 и 5 мм. Сбор стыка – без скоса кромок с зазором
Табл. XV.12	Режимы сварки оцинкованной низкоуглеродистой стали толщиной 1,6 и 3 мм в углекислом газе, толщиной 1,6, 3 и 6 мм – самозащитной проволокой
Табл. XVI.4	Режимы ручной дуговой сварки покрытыми электродами высоколегированных сталей толщиной 2–12 мм (постоянный ток обратной полярности)
Табл. XVI.10	Режимы автоматической сварки под флюсом аустенитной стали 12Х18Н9Т (толщиной 6–12 мм при односторонней сварке, 6–40 мм при двусторонней). Сварка без разделки кромок, сварочная проволока диаметром 5 мм
Табл. XVI.14	Режим электрошлаковой сварки высоколегированных сталей и сплавов толщиной 100 мм (электрод – проволока диаметром 3 мм, пластина 10×100 мм) и 200 мм (электрод – пластина 12×200 мм)
Табл. XVI.16	Режимы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом высоколегированных сталей. Толщина при ручной сварке с отбортовкой 1–3 мм, стыковое без разделки с присадкой – 1 мм. Толщина при автоматической сварке стыкового соединения с присадкой – 1,2 и 4 мм, то же без присадки 1, 2,5 и 4 мм. Диаметр сварочной проволоки 1,6–2 мм, ток постоянный прямой полярности

Табл. XVI.17	Режим сварки сталей типа 18-8 толщиной 1,5–25 мм плавящимся электродом в аргоне (постоянный ток обратной полярности)
Табл. XVI.19	Режимы механизированной аргонодуговой сварки плавящимся электродом стыковых соединений из высоколегированных сталей в нижнем положении. Толщина металла без разделки кромок 1,5–4 мм, с V-образной 6–10 мм
Табл. XVI.20	Режимы автоматической аргонодуговой сварки плавящимся электродом стыковых соединений из высоколегированных сталей в нижнем положении. Толщина металла без разделки кромок 1–4 мм, с V-образной разделкой под 50° углом 5–10 мм
Табл. XVI.21	Режимы сварки без разделки кромок плавящимся электродом в углекислом газе (толщина при одностороннем типе шва 1–3 мм, при двустороннем 6–10 мм)
Табл. XVI.31	Режимы сварки сдвоенной проволокой (диаметром 3 и 4 мм) коррозионностойкого слоя (толщиной 3–5 мм) двухслойного металла, при скорости сварки $(4-5) \cdot 10^3$ м/с
Табл. XVII.3	Режимы ручной дуговой сварки алюминия и его сплавов толщиной 6–20 мм покрытыми электродами. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности
Табл. XVII.4	Режимы автоматической сварки алюминия по флюсу (полуоткрытой дугой). Толщина металла при сварке одним электродом 4–25 мм, при сварке расщепленным электродом 12–20 мм. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности без зазора и скоса кромок
Табл. XVII.5	Режимы автоматической сварки алюминия толщиной 14–62 мм под флюсом. Сварка ведется на переменном или постоянном токе обратной полярности
Табл. XVII.6	Режимы однопроводной автоматической аргонодуговой сварки стыковых соединений алюминиевых сплавов толщиной 1–15 мм вольфрамовым электродом
Табл. XVII.7	Режимы автоматической аргонодуговой сварки стыковых соединений из алюминиевых сплавов плавящимся электродом. Без разделки кромок – 4 мм, с V-образной – 4–15 мм, с X-образной – 20 и более. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности на подкладке полуавтоматом или автоматом
Табл. XVII.10	Режимы сварки меди под флюсом. Толщина металла без разделки кромок 2–22 мм, с U-образной разделкой 25–40 мм. Сварка выполняется за один проход с полным проплавлением кромок

Табл. XVII.11	Режимы аргонодуговой сварки меди вольфрамовым электродом. Толщина металла: 1,2–4 мм (без разделки кромок), 6–16 мм (с V-образной), 19–25 мм (с X-образной). Сварка ведется на постоянном токе прямой полярности
Табл. XVII.12	Режимы плазменной сварки хромовой бронзы. Толщина металла 20–40 мм (односторонний тип шва), 40–80 мм (двусторонний тип шва)
Табл. XVII.14	Режимы аргонодуговой ручной (толщина 1–10 мм) и механизированной (толщина 1–8 мм) сварки титана вольфрамовым электродом. Сварка ведется на постоянном токе прямой полярности
Табл. XVII.15	Режимы сварки титана толщиной 3–36 мм плавящимся электродом в аргоне (без разделки кромок). Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности
Табл. XVII.16	Режимы автоматической сварки стыковых швов титана под флюсами АНТ-1, АНТ-3, АНТ-7. Толщина металла 2,5–4 мм при односторонней сварке на остающейся подкладке, 4–5 мм на медной подкладке, 8–20 мм при двусторонней сварке. Ток постоянный обратной полярности
Табл. XVII.17	Режимы электрошлаковой сварки пластинчатым электродом (толщина металла 30–120 мм), проволочным электродом $d = 4\text{--}5$ мм (толщина металла 40–150 мм) и плавящимся мундштуком (толщина металла 70–100 мм). Сварку ведут на переменном токе минимальной погонной энергии
Табл. XVII.18	Режимы дуговой сварки свинца толщиной 1–30 мм угольным электродом. Сварку выполняют на постоянном токе прямой полярности и на переменном токе. Толщиной до 10 мм сваривают без разделки кромок. При толщине металла свыше 5 мм сварка многопроходная

Сварка и резка в промышленном строительстве : в 2 т. / Б.Д. Малышев [и др.] ; под ред. Б.Д. Малышева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1989. – Т. 2. – 400 с. : ил. – (Справочник строителя)

Табл. XIX.4	Режимы автоматической одноэлектродной сварки под флюсом стыковых соединений С7 и С29(ГОСТ 8713-79) с толщиной листа 4–18 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности при вылете электрода 35–40 мм с одним проходом с каждой стороны шва
-------------	--

Табл. XIX.5	Режимы одноэлектродной автоматической сварки под флюсом стыковых соединений С25, С38 (ГОСТ 8713-79*) с толщиной листа 20–50 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности при вылете электрода 35–40 мм
Табл. XIX.6	Режимы одноэлектродной автоматической сварки под флюсом стыковых соединений толщиной 22–36 мм с применением ППМ. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности при вылете электрода 35–45 мм
Табл. XIX.7	Режимы автоматической двухдуговой сварки под флюсом стыковых соединений без подготовки (толщиной 20–40 мм) и с подготовкой (толщиной 40–50 мм) кромок. Сварку на первой дуге ведут на переменном токе, на второй дуге – на постоянном токе обратной полярности
Табл. XIX.8	Режимы механизированной сварки стыковых соединений (толщиной 3 мм для односторонней и 3–12 мм для двусторонней) в CO ₂ , CO ₂ + O ₂ , Ar + 25%CO ₂ проволокой Св-08Г2С (в нижнем положении). Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности
Табл. XIX.10	Режимы механизированной многопроходной сварки в нижнем (С8, С12, С15, С17, С21, С25, У7, У8 и У10 по ГОСТ 5264-80. Диаметр электрода 2–3 мм) и вертикальном (С8 и С17 по ГОСТ 5264-80. Диаметр электрода 1,8–2 мм) положении самозащитной порошковой проволокой. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности
Табл. XX.5	Режимы механизированной сварки труб с толщиной стенки 5–10 мм из низкоуглеродистой стали в углекислом газе. Сварку ведут сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 0,8–1,2 мм на постоянном токе обратной полярности
Табл. XX.6	Режимы сварки труб из низкоуглеродистых сталей с толщиной стенки 7–12 мм под флюсом по ручной подварке корневого шва. Приведены данные для проволоки Св-08Г2С, флюса АН-348, диаметра труб более 325 мм, марки стали 20
Табл. XXI.3.	Режимы сварки поворотных стыков труб. Автоматическая сварка под флюсом по предварительному сваренному корню шва труб диаметром 529–1420 мм и толщиной стенки 7–20,5 мм. Двусторонняя сварка под флюсом труб диаметром 1420 мм с толщиной стенки 17 мм и более

Табл. XXI.6	Режимы автоматической сварки стыков труб порошковыми проволоками ПП-АН 19 (для стенки толщиной 16–25 мм), ПП-АН 24, ПП-АН 24с (для стенки толщиной 16–22 мм) и ПП-АН 24 (для стенки толщиной 16–25 мм)
Табл. XXII.18	Режимы дуговой сварки под флюсом элементов закладных изделий. Диаметр изделий 8–40 мм
Табл. XXI.19	Режимы механизированной сварки стержней с плоскими элементами закладных изделий в CO ₂ . Диаметр стержня 12–25 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности электродной проволокой сплошного сечения диаметром 2 мм
Табл. XXII.20	Режимы механизированной сварки под флюсом стыковых соединений горизонтальных и вертикальных стержней. Диаметр стержней 20–40 мм
Табл. XXII.21	Режимы механизированной сварки стыковых соединений стержней порошковой проволокой марки ПП-АН3, диаметром 3 мм. Диаметр стыкуемых стержней 20–28 мм и 32–40 мм
Табл. XXII.22	Режимы механизированной ванной сварки под флюсом стыковых соединений однорядных горизонтальных и вертикальных стержней диаметром 20–40 мм. Диаметр проволоки 2 и 2,5 мм
Табл. XXII.24	Режимы механизированной сварки открытой дугой многослойными швами соединения стержней на стальной скобе-накладке. Диаметр стержней 25–80 мм, сварочной проволоки 1,6–2 мм
Табл. XXII.25	Режимы ручной сварки протяженными многослойными швами. Диаметр стержней от 20 (и менее) до 80 мм
Табл. XXIII.8	Режимы сварки алюминиевых шин толщиной 3–35 мм угольным электродом. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности
Табл. XXIII.9	Режимы сварки медных шин толщиной 3–30 мм угольным электродом. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности
Табл. XXIII.10	Режимы механизированной сварки медных шин под флюсом. Размер шин 40×4–300×12 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности
Табл. XXIII.11	Режимы аргонодуговой механизированной сварки мерных шин толщиной 3–10 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности

**Сварка. Резка. Контроль : справочник : в 2 т. / под общ. ред.
Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. — М. : Машиностроение, 2004. — Т. 1 /
Н.П. Алешин [и др.]. — 624 с. : ил.**

Табл. 4.1	Режимы односторонней сварки встык без разделки кромок стальных листов толщиной до 8–10 мм и двусторонней сварки листов толщиной до 16–18 мм
Табл. 4.2	Режимы РДС стыковых соединений толщиной 1–5 мм
Табл. 4.4	Режимы сварки тонколистовых стыковых соединений толщиной 0,5–1,5 мм
Табл. 4.7	Режимы односторонней сварки листовых конструкций и кольцевых швов толщиной 2–8 мм как с разделкой, так и без разделки кромок с обязательным технологическим зазором на флюсовой подушке
Табл. 4.8	Режимы механизированной сварки под флюсом двусторонних стыков швов без разделки кромок толщиной 14–50 мм
Табл. 4.9	Режимы многопроходной автоматической сварки под флюсом стали с X-образной (толщина 30 мм) и U-образной разделкой (толщина 70 и 90 мм) кромок
Табл. 4.10	Режимы сварки «в лодочку» угловых швов тавровых и нахлесточных соединений с катетом шва 6–12 мм
Табл. 4.11	Режимы сварки в угол швов тавровых и нахлесточных соединений с катетом шва 3–8 мм
Табл. 4.14	Режимы аргонодуговой сварки высоколегированных сталей толщиной 2–10 мм (толщину до 4 мм сваривают короткой дугой с периодическими короткими замыканиями, большей толщины – на токах выше критических)
Табл. 4.15	Режимы полуавтоматической сварки на постоянном токе обратной полярности в углекислом газе низкоуглеродистой стали с катетом шва 2–6 мм
Табл. 4.18	Режимы электрошлаковой сварки перлитных и аустенитных сталей электродной проволокой (для деталей толщиной 30–500 мм) и плавящимся мундштуком (для деталей толщиной свыше 100 мм)
Табл. 6.1	Режимы автоматической плазменной сварки материалов 12Х18Н10Т ($\delta = 1-3$ мм), 30ХГСА ($\delta = 1-3$), ВТ5, ОТ4 ($\delta = 1,2-2$ мм) без присадочной проволоки

Табл. 6.2	Режимы сварки стыковых соединений коррозионностойкой стали (толщиной 6, 8 и 10 мм), титановых сплавов (4,7, 10 и 12 мм) и никеля (толщиной 3,2, 6 и 8 мм) постоянным током
Табл. 6.5	Режимы лазерной сварки алюминиевого сплава АМгб толщиной 2–4 мм излучением CO ₂ -лазера
Табл. 6.6	Режимы лазерной сварки магниевых сплавов ИМВ-2 (толщиной 1,2 и 1,8 мм) и МА-18 (толщиной 1,2 и 4 мм) непрерывным излучением CO ₂ -лазера
Табл. 6.7	Режимы лазерной сварки титановых сплавов ВТ-6 (толщиной 3 и 5 мм) Вт-28 (толщиной 2 и 3 мм) и ПТ-3В (толщиной 4 и 5 мм) излучением CO ₂ -лазера

**Оборудование для дуговой сварки : справочное пособие /
под ред. В.В. Смирнова. — Л. : Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.**

Сварка плавящимся электродом под флюсом и в защитных газах	
Табл. 4.2	Режимы односторонней однопроходной сварки стыковых соединений листов низкоуглеродистой стали толщиной 3–10 мм. Без скоса кромок, на флюсомедной подкладке постоянным током обратной полярности. Сварочная проволока Св-08
Табл. 4.3	Ориентировочные режимы односторонней сварки переменным током стыковых соединений низкоуглеродистой стали без скоса кромок, на флюсовой подушке, с обязательным зазором в стыке. Сварочная проволока Св-08 ($\delta = 4\text{--}20$ мм)
Табл. 4.4	Режимы односторонней сварки стыковых соединений листов низкоуглеродистой стали толщиной 12–30 мм. С односторонним скосом двух кромок, на флюсомедной подкладке постоянным током обратной полярности ($\delta = 12\text{--}30$ мм)
Табл. 4.8	Режимы автоматической двухдуговой односторонней сварки стыковых соединений листов низкоуглеродистой стали толщиной 8–14 мм. Без скоса кромок, на флюсомедной подкладке проволокой Св-08 на переменном токе ($\delta = 8\text{--}14$ мм)
Табл. 4.12	Режимы автоматической двухсторонней сварки стыковых соединений низкоуглеродистых сталей проволокой Св-08Г2С на токе обратной полярности ($\delta = 6\text{--}32$ мм)
Табл. 4.14	Режимы полуавтоматической двусторонней сварки стыковых соединений низкоуглеродистой стали проволокой Св-08Г2С на токе обратной полярности при расходе углекислого газа 400–600 л/ч. ($\delta = 1\text{--}6$ мм)

Табл. 4.17	Ориентировочные режимы автоматической сварки в углекислом газе стыковых соединений низколегированных сталей с узкой разделкой кромок проволокой марки Св-08Г2С на токе обратной полярности ($\delta = 18-100$ мм)
Эмульсионно-дуговая сварка плавящимся электродом (ИДСП)	
Табл. 5.4	Рекомендуемые режимы для ИДСП алюминиевых сплавов ($\delta = 2-6$ мм. Стыковые без скоса кромок с зазором)
Табл. 5.5	Ориентировочные режимы для ИДСП хромоникелевых сталей типа 18/8 в аргоне ($\delta = 1-4$ мм. Стыковые и тавровые без разделки кромок)
Сварка неплавящимся электродом в инертных газах	
Табл. 6.12	Ориентировочные режимы автоматической сварки для различных типов соединений алюминиевых сплавов (в непрерывном режиме)
Табл. 6.16	Ориентировочные режимы автоматической сварки пульсирующим током неповоротных стыков трубопроводов из стали 1Х18Н9Т (без скоса кромок, $\delta = 1, 2, 4$ мм)

**Справочник сварщика / под ред. В.В. Степанова. – 4-е изд. –
М. : Машиностроение, 1982. –560 с.**

Механизированная сварка под флюсом	
Табл. 14	Ориентировочные режимы односторонней сварки стыковых швов металла толщиной 2–8 мм на стендах с флюсовой подушкой
Табл. 15	Ориентировочные режимы односторонней сварки стыковых швов на флюсовой подушке с обязательным зазором ($\delta = 10-20$ мм. $\Delta 2$ мм)
Табл. 19	Ориентировочные режимы сварки стыковых швов тонколистовой стали ($\delta = 1; 1,5; 2; 3$ мм)
Табл. 22	Ориентировочные режимы сварки под флюсом высоколегированных сталей ($\delta = 5-20$ мм)
Электродуговая сварка в среде защитных газов	
Табл. 9	Режимы полуавтоматической и автоматической сварки в CO_2 коррозионностойкой стали ($\delta = 0,5-2$ мм)

Новые способы сварки	
Табл. 1	Режимы сварки плазменной дугой Сталь 0818Н10Т $\delta = 1$ мм АМГ6 $\delta = 3-8$ мм
Сварка цветных металлов	
Табл. 9	Режимы автоматической сварки алюминия и его сплавов плавящимся электродом (для двусторонних стыковых швов) ($\delta = 12-25$ мм)
Табл. 11	Ориентировочные режимы автоматической аргонодуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом без присадочной проволоки (стыковые соединения) ($\delta = 1-3$ мм)
Табл. 12	Ориентировочные режимы автоматической аргонодуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом с присадкой ($\delta = 2-6$ мм)
Табл. 13	Режимы автоматической сварки алюминия и его сплавов плавящимся электродом (для односторонних стыковых швов) ($\delta = 4-20, > 20$ мм)

**Сварка в машиностроении : справочник : в 4 т. / ред. кол.:
Г.А. Николаев (пред.) и др. – М. :Машиностроение, 1978. – Т. 2 /
под ред. А.И. Акулова. – 462 с.**

Глава 5. Сварка конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей	
Сварка под флюсом	
Табл. 11	Режимы автоматической сварки под флюсом стыковых швов без разделки кромок с обязательным зазором на флюсовой подушке ($\delta = 3-50$ мм, односторонний, двусторонний – переменный и постоянный ток)
Табл. 12	Режимы двусторонней сварки стыковых швов с V-образной разделкой кромок на флюсовой подушке ($\delta = 14-34$ мм, ток переменный, постоянный)
Табл. 13	Режимы автоматической сварки под флюсом многослойных стыковых швов (δ более 16 и более 22 мм, переменный и постоянный ток)

Дуговая сварка в защитных газах	
Табл. 19	Режимы полуавтоматической и автоматической сварки стыковых швов без разделки и с разделкой кромок в CO_2 ($\delta = 0,6\text{--}12$ мм) (ток постоянный обратной полярности)
Глава 6. Сварка конструкционных средне- и высокоуглеродистых и легированных сталей	
Автоматическая сварка под флюсом	
Табл. 8	Ориентировочные режимы сварки проволокой Св-18ХМА диаметром 3 мм под слоем флюса при напряжении дуги 26–32 В ($\delta = 4\text{--}25$ мм, ток переменный и постоянный, соединение стыковое, сварка автоматическая)
Сварка в защитных газах	
Табл. 10	Режимы сварки неплавящимся электродом (встык) ($\delta = 0,4\text{--}4$ мм; $\delta = 0,4\text{--}4$ мм с присадкой) (ток постоянный прямой полярности, сварка автоматическая)
Табл. 11	Ориентировочные режимы импульсно-дуговой сварки вольфрамовым электродом Wэ ($\delta = 1,0; 1,2$ мм) на постоянном токе прямой полярности; сварка автоматическая; соединение стыковое
Табл. 13	Ориентировочные режимы автоматической сварки плавящимся электродом. Стыковые соединения ($\delta = 0,5\text{--}10$ мм)
Табл. 14	Ориентировочные режимы автоматической сварки конструкционных сталей в среде CO_2 (при расходе газа 6–10 л/мин) (плавящийся электрод) (стыковые $\delta = 0,8\text{--}10$ мм; нахлесточные $\delta = 1; 1,5; 3$ мм)
Глава 9. Сварка аустенитных сталей и сплавов	
Сварка в защитных газах	
Табл. 18	Примерные режимы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом высоколегированных сталей (ручная и автоматическая, встык с присадкой и без присадки, Wэ, постоянный ток прямой полярности) ($\delta = 1; 2; 4$ мм; с присадками 1; 2,5 мм; и без присадок)
Табл. 19	Ориентировочные режимы полуавтоматической и автоматической аргонодуговой сварки встык плавящимся электродом нержавеющей сталей в нижнем положении ($\delta = 1\text{--}10$ мм)

Табл. 20	Режимы сварки сталей типа 18-8 (постоянный ток, обратная полярность, плавящийся электрод, инертный газ, импульсная дуговая сварка, сварка с короткими замыканиями и со струйным переносом металла) $\delta = 1,5-8$ мм; Кз $\delta = 1,5-2; 5-8$ мм; Gr $\delta = 3-25$ мм
Табл. 24	Ориентировочные режимы дуговой сварки без разделки кромок плавящимся электродом в CO_2 (постоянный ток, обратная полярность, $\delta = 1-10$ мм)
Глава 10. Сварка алюминия, алюминиевых и магниевых сплавов	
Табл. 11	Ориентировочные режимы автоматической электродуговой сварки алюминия плавящимся электродом по слою флюса (постоянный ток, обратная полярность, $\delta = 6-25$ мм, стык)
Табл. 13	Ориентировочные режимы автоматической аргонодуговой сварки Wэ стыковых соединений алюминиевых сплавов при напряжении на дуге 15–20 В ($\delta = 1-4$ мм) переменный ток
Табл. 14	Ориентировочные режимы однопроходной сварки Wэ погруженной дугой алюминиевых сплавов при расходе аргона 25–30 л/мин ($\delta = 8-16$ мм)
Табл. 15	Ориентировочные режимы автоматической аргонодуговой сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов (соединение встык, постоянный ток обратной полярности, $\delta = 4-20$ мм)
Табл. 17	Ориентировочные режимы импульсной автоматической аргонодуговой сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов (соединение встык, $\delta = 2,5-8$ мм нижнее положение, $\delta = 2,5-25$ мм вертикальное положение)
Табл. 18	Ориентировочные режимы плазменной сварки алюминиевого сплава АМ26 встык за один проход (переменный ток, $\delta = 4-14$ мм)
Сварка магниевых сплавов	
Табл. 25	Ориентировочные режимы автоматической сварки Wэ деталей из магниевых сплавов (в числителе – МА1, в знаменателе – МА8) на переменном токе, встык, $\delta = 0,8-3$ мм
Табл. 26	Ориентировочные режимы аргонодуговой сварки плавящимся электродом деталей из магниевых сплавов ($\delta = 5-30$ мм)
Глава 12. Сварка никеля и никелевых сплавов	
Табл. 19	Ориентировочные режимы автоматической аргонодуговой сварки Wэ сплавов Н70МФ и ХН65МВ без разделки кромок (постоянный ток прямой полярности, $\delta = 1,5-4,0$ мм)

Глава 13. Сварка тугоплавких металлов и их сплавов	
Сварка титана и его сплавов	
Табл. 10	Ориентировочные режимы механизированной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом стыковых соединений титана и его сплавов ($\delta = 0,8-10$ мм)
Табл. 11	Режимы автоматической аргонодуговой импульсной сварки Wэ ($\delta = 0,8-2$ мм)

Столбов В.И., Короткова Г.М.

Технология и оборудование для сварки трехфазной дугой неплавящимся электродом : учебное пособие. – Куйбышев : КуАИ, 1964. – 81 с.

Табл. 3.4	Ориентировочные режимы автоматической сварки трехфазной дугой стыковых соединений без разделки кромок сплава АМг-6 ($\delta = 5,5-20$ мм)
Табл. 3.8	Ориентировочные режимы автоматической сварки трехфазной дугой стыковых соединений без разделки кромок сплава АМЦ ($\delta = 20-40$ мм)

Гуревич С.М.

Сварка химически активных и тугоплавких металлов и сплавов. – М. : Машиностроение, 1982. – 95 с. – (Библиотека электросварщика)

Табл. 14	Ориентировочные режимы механизированной сварки стыковых соединений из титана и его сплавов неплавящимся электродом в среде аргона ($\delta = 1-8$ мм)
Табл. 21	Ориентировочные режимы автоматической сварки под флюсом стыковых швов на титане ($\delta = 2,5-20$ мм)

Рабкин Д.М., Игнатьев В.Г., Довбищенко И.В.

Дуговая сварка алюминия и его сплавов. – М. : Машиностроение, 1982. – 95 с. – (Библиотека электросварщика)

Табл. 18	Ориентировочные режимы автоматической и полуавтоматической импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в аргоне (стыковые соединения, $\delta = 1-40$ мм)
----------	--

Табл. 21	Ориентировочные режимы автоматической однопроходной аргодуговой сварки неплавящимся электродом стыковых соединений (без скоса кромок на подкладке из алюминиевых сплавов) ($\delta = 1,5-14$ мм)
Табл. 22	Ориентировочные режимы односторонней автоматической сварки трехфазной дугой стыковых соединений алюминиевых сплавов ($\delta = 4-30$ мм) током обратной полярности
Табл. 23	Режимы автоматической сварки стыковых соединений из алюминиевых сплавов асимметричным током ($\delta = 3-16$ мм)
Табл. 2	Режимы автоматической сварки неплавящимся электродом постоянным током в гелии ($\delta = 4-18$ мм)
Табл. 26	Режимы сварки сжатой дугой стыковых соединений алюминия ($\delta = 4-30$ мм)

4.4.3. Выбор способа сварки на основе экспертных оценок

Предлагаемая методика предусматривает необходимость предварительного назначения показателей эффективности для оценки разновидностей способов сварки и использования табл. 3.8.

Выберем для примера три показателя эффективности: дефектность (D), которую будем понимать как наибольшую вероятность иметь минимум дефектов, производительность (Π) и распространенность признака в промышленности (P). Предложим экспертам про ранжировать компоненты каждого основного признака по принципу призовых мест. При этом первое место должно присваиваться тому компоненту, который данному показателю обеспечивает наилучший результат. Пусть по результатам работы экспертов составлена ниже-следующая таблица.

Таблица 4.7

Оценка эффективности разновидностей способов сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом

Основной признак	Разновидности основного признака	Показатель эффективности			Наилучший вариант по показателю эффективности		
		D	Π	P	D	Π	P
Состав защитной среды	аргон	3	3	1	–	–	+
	аргон + гелий	2	2	2	–	–	–
	гелий	1	1	3	+	+	–

Продолжение табл. 4.7

Основной признак	Разновидности основного признака	Показатель эффективности			Наилучший вариант по показателю эффективности		
		<i>Д</i>	<i>П</i>	<i>Р</i>	<i>Д</i>	<i>П</i>	<i>Р</i>
Способ защиты	локальная односторонняя	3	1	1	–	+	+
	локальная двусторонняя	2	2	3	–	–	–
	объемная*	1	3	2	+	–	–
Характер ввода энергии в изделие	непрерывный	2	1	1	–	+	+
	импульсный	1	2	2	+	–	–
Род тока дуги	постоянный ток	2	1	2	–	+	–
	переменный ток	1	2	1	+	–	+
Количество дуг, горящих в одно плавильное пространство	одна однофазная	2	3	1	–	–	+
	две однофазные	3	1	3	–	+	–
	трехфазная дуга	1	2	2	+	–	–
Виды дуг	свободная	3	3	1	–	–	+
	погруженная	1	2	3	–	–	–
	сжатая	2	1	2	+	+	–
Использование присадочного материала	с присадкой	1	2	1	+	–	+
	без присадки	2	1	2	–	+	–
Характер механизации	ручная	3	3	1	–	–	+
	механизиру- ванная	2	2	2	–	–	–
	автоматическая	1	1	3	+	+	–

* – в камере с контролируемой атмосферой

Тогда наилучший вариант способа сварки будет:

- 1) по показателю «Дефектность» – автоматическая сварка в камере с контролируемой гелиевой атмосферой трехфазной сжатой дугой переменного тока, горящей в импульсном режиме, с использованием присадочного материала;
- 2) по показателю «Производительность» – автоматическая сварка в гелии двумя сжатыми дугами, горящими в одно плавильное пространство на постоянном токе в непрерывном режиме при локальной односторонней защите, без присадочной проволоки;
- 3) по показателю «Распространенность» – ручная сварка в аргоне одной свободной дугой, горящей в непрерывном режиме на переменном токе при локальной односторонней защите, с применением присадочного материала.

Пусть в качестве приоритетного выбран показатель *Д*. Тогда все разновидности основных признаков, отмеченные первым местом для этого показателя, проверяются на совместимость с конкретной ситуацией по условиям-ограничениям. Те из них, которые не могут быть реализованы, заменяются более «слабым» признаком. Например, при значительных габаритах изделия сварка в камере с контролируемой атмосферой может быть заменена на сварку с двухсторонней или даже односторонней защитой и т. д. Таким образом, для конкретных условий и заданного показателя эффективности выбираются признаки оптимального способа сварки.

Если показателей эффективности несколько, необходимо использовать тот или иной метод решения многокритериальных задач, например метод уступок (см. раздел 1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев ; под ред. И.М. Жестковой. — 9-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 2006. — Т. 1. — 927 с. : ил.
2. Гитлевич, А.Д. Механизация и автоматизация сварочного производства / А.Д. Гитлевич, Л.А. Этингоф. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1979. — 280 с.
3. Глизманенко, Д.Л. Сварка и резка металлов / Д.Л. Глизманенко. — 6-е изд. перераб. — М. : Высш. шк. 1967. — 448 с. : ил.
4. Гуревич, С.М. Сварка химически активных и тугоплавких металлов и сплавов / С.М. Гуревич. — М. : Машиностроение, 1982. — 95 с.
5. Евстифеев, Г.А. Средства механизации сварочного производства. Конструирование и расчет / Г.А. Евстифеев, И.С. Веретенников. — М. : Машиностроение, 1977. — 96 с. : ил.
6. Изготовление стальных конструкций / А.А. Абаринов [и др.] ; под ред. В.М. Краснова. — М. : Стройиздат, 1978. — 335 с. : ил. (Справочник монтажника)
7. Козулин, М.Г. Конструирование приспособлений для сварочного производства : метод. указания к курсовой работе / М.Г. Козулин, Н.Е. Машнин. — Тольятти : ТГУ, 2004. — 28 с.
8. Козулин, М.Г. Справочные материалы по конструированию приспособлений для сварочного производства / М.Г. Козулин, Н.Е. Машнин. — Тольятти : ТГУ, 2004. — 33 с.
9. Козулин, М.Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учебное пособие для вузов / М.Г. Козулин. — Тольятти : ТГУ, 2002 — 286 с. : ил.
10. Куркин, С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций : атлас / С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.М. Рыбачук. — М. : Машиностроение, 1989. — 328 с. : ил.
11. Лукьянов, В.П. Штамповка, гибка деталей для сварных сосудов, аппаратов и котлов / В.П. Лукьянов, И.И. Маткава, В.А. Бойко. — М. : Машиностроение, 2003. — 512 с.
12. Никифоров, Н.И. Справочник газосварщика и газорезчика / Н.И. Никифоров, С.П. Нешумова, И.А. Антонов. — 3-е изд., испр. — М. : Высш. шк., 2002. — 239 с. : ил.
13. Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие / под ред. В.В. Смирнова. — Л. : Энергоатомиздат, 1986. — 656 с. : ил.
14. Окерблом, Н.О. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций / Н.О. Окерблом, В.П. Демянцевич, И.П. Байкова. — Л. : Судпромгиз, 1963. — 602 с : ил. (Расчетные методы)

15. Пономарев, В.А. Универсально-сборочные приспособления для сборочно-сварочных работ : альбом / В.А. Пономарев, И.С. Чугунихин, Ю.В. Бородин. — М. : Машиностроение, 1980. — 152 с. : ил.
16. Потапьевский, А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А.Г. Потапьевский. — М. : Машиностроение, 1974. — 240 с. : ил.
17. Походня, М.К. Сварка порошковой проволокой / М.К. Походня, А.М. Ступель, В.Н. Шлепаков. — Киев : Наукова думка. — 1972. — 223 с. : ил.
18. Рабкин, Д.М. Дуговая сварка алюминия и его сплавов / Д.М. Рабкин, В.Г. Игнатьев, И.В. Довбищенко. — М. : Машиностроение, 1982. — 95 с.
19. Рыжков, Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. Организация и технология / Н.И. Рыжков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1980. — 375 с.
20. Рымов, Е.В. Новые сварочные приспособления / Е.В. Рымов. — Л. : Стройиздат, 1988. — 125 с. : ил.
21. Сварка в машиностроении : справочник : в 4 т. / под ред. Н.А. Ольшанского. — М. : Машиностроение, 1978. — Т. 1. — 501 с. : ил.
22. Сварка в машиностроении : справочник : в 4 т. / под ред. А.И. Акулова. — М. : Машиностроение, 1978. — Т. 2. — 462 с. : ил.
23. Сварка и резка в промышленном строительстве : справочник строителя : в 2 т. / под ред. Б.Д. Малышева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1989. — Т. 1. — 590 с. : ил.
24. Сварка и резка в промышленном строительстве : справочник строителя : в 2 т. / под ред. Б.Д. Малышева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1989. — Т. 2. — 400 с. : ил.
25. Сварка и резка материалов : учеб. пособие / М.Д. Банов [и др.] ; под ред. Ю.В. Казакова. — 7-е изд., стереот. — М. : Академия, 2003. — 399 с. : ил.
26. Сварка. Резка. Контроль : справочник : в 2 т. / Н.П. Алешин [и др.] ; под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. — М. : Машиностроение, 2004. — Т. 1. — 624 с. : ил.
27. Сварка. Резка. Контроль : справочник : в 2 т. / Н. П. Алешин [и др.] ; под общ. ред. Н.П. Алешина. — М. : Машиностроение, 2004. — Т. 2. — 478 с. : ил.
28. Севбо, П.И. Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства / П.И. Севбо. — Киев : Техніка, 1974. — 416 с. : ил.
29. Современный толковый словарь русского языка / гл. ред. С.А. Кузнецов. — М. : Ридерз Дайджест, 2004. — 960 с.
30. Справочник сварщика / под ред. В.В. Степанова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1982. — 560 с. : ил.

31. Столбов, В.И. Технология и оборудование для сварки трехфазной дугой неплавящимся электродом : учеб. пособие / В.И. Столбов, Г.М. Короткова. – Куйбышев : КуАИ, 1984. – 81 с. : ил.
32. Теоретические основы сварки : учеб. пособие для вузов / под ред. В.В. Фролова. – М. : Высш. шк., 1970. – 592 с. : ил.
33. Терликова, Т. Ф. Основы конструирования приспособлений : учеб. пособие для вузов / Т. Ф. Терликова, А.С. Мельников, В. И. Баталов. – М. : Машиностроение, 1980. – 119 с. : ил.
34. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с. : ил.
35. Фаерман, А.И. Выбор экономичного варианта процесса сварки / А.И. Фаерман. – М.-Л. : Машгиз, 1962. – 127 с.
36. Цепенев, Р.А. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Основы научных исследований и техника эксперимента» / Р.А. Цепенев. – Тольятти : ТолПИ, 1994. – 23 с.

**Некоторые публикации по вопросам оптимизации в журналах
«Сварочное производство» и «Автоматическая сварка»**

№ п/п	Название статьи	Авторы	Год, номер
«Сварочное производство»			
1.	К вопросу о выборе критерия оптимизации режимов сварки	Давидовский А.Н. и др.	1987, 5
2.	Оптимизация вертикальной подачи присадочной проволоки при аргонодуговой сварке	Штрикман М.М.	1987, 12
3.	Номограмма для определения оптимального расхода защитного газа при дуговой сварке	Хрусталева Е.И., Сургунт Я.М.	1988, 1
4.	Оптимизация формирования швов при дуговой сварке со сквозным проплавлением на весу	Березовский Б.М. и др.	1988, 3
5.	Оптимизация режимов дуговой сварки плавящимся электродом	Букаров В.А. и др.	1992, 1
6.	Оптимизация режима односторонней сварки под флюсом на медном ползуне	Тарарычкин И.А. и др.	1992, 5
7.	Оптимизация технологии наплавки изношенных деталей	Васильев Н.Г.	1994, 7

№ п/п	Название статьи	Авторы	Год, номер
8.	Оптимизация условий труда на рабочем месте электросварщика	Глебов А.З. и др.	1994, 8
9.	Оптимизация технологии двухдуговой сварки с программированием режима	Серенко А.Н. и др.	1994, 1, 3
10.	Многокритериальная оптимизация технологических процессов сварки металлоконструкций и трубопроводов	Лошаков А.М. и др.	1997, 3
11.	Оптимизация формы разделки кромок при дуговой сварке в узкий зазор	Тарарычкин И.А. и др.	2000, 10
12.	Оптимизация технологии сварочных процессов при решении задач обеспечения качества продукции	Тарарычкин И.А. и др.	2001, 1
13.	Определение оптимального расхода защитного газа при различных режимах сварки в CO ₂	Киянов С.С., Федько В.Т.	2002, 1
14.	Решение задач оптимизации технологии на основе компьютерного моделирования процесса сварки	Ерофеев В.А.	2003, 7
15.	Оптимизация газовой защиты при плазменной сварке	Шарапов М.Г.	2003, 6
16.	Оптимизация размеров сварных швов за счет адаптивного управления процессом дуговой сварки	Трегубов Г.П., Горбач В.Д.	2004, 1
«Автоматическая сварка»			
17.	Методика изыскания оптимального варианта производственного процесса изготовления сварных конструкций	Казимиров А.А.	1971, 9
18.	Выбор оптимального числа электродов при многодуговой сварке с повышенной скоростью	Сидоренко Б.Г., Мандельберг С.Л.	1988, 2

№ п/п	Название статьи	Авторы	Год, номер
19.	Оптимизация массы наплавленного металла и объемов обработки при восстановлении деталей	Прохоренко В.М., Антонова Е.С.	1998, 5
20.	Определение сравнительной экономичности различных способов дуговой сварки	Гитлевич А.Д.	1986, 1
21.	Области экономически эффективного применения способов дуговой сварки	Гитлевич А.Д.	1985, 1
22.	Эффективность применения механического оборудования для поворота свариваемых изделий	Гитлевич А.Д.	1982, 12

СОДЕРЖАНИЕ¹

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Раздел 1. ОПТИМАЛЬНОСТЬ	5
1.1. Понятия и определения	5
1.2. Теория выбора и принятия решения	6
Раздел 2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ КАК ОБЪЕКТ ОПТИМИЗАЦИИ	34
2.1. Общие требования к проекту технологии	34
2.2. Определение технико-экономической эффективности комплексной механизации и автоматизации сварочного производства и выбор наиболее выгодного варианта	37
Раздел 3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ИСХОДНОГО МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВ	40
3.1. Список ГОСТов и ОСТов	40
3.2. Типы сварных соединений по толщинам и способам сварки	45
3.3. Возможные способы сварки. Перечень	49
3.4. Морфологический метод формирования исходного множества альтернатив (ИМА)	53
3.5. Схемы и варианты способов выполнения технологических операций	55
Раздел 4. ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ. КРИТЕРИИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ	57
4.1. Основные технико-экономические показатели для сравнения вариантов (сводка)	57
4.2. Отработка технологичности металлических конструкций и рациональной технологии по их изготовлению	58
4.3. Выбор варианта стыкового соединения	61
4.3.1. Рекомендации из литературных источников	61
4.3.2. Алгоритм выбора сварного соединения	63
4.4. Выбор способа сварки	69
4.4.1. Сравнительные оценки способов сварки	70
4.4.2. Перечень наименований таблиц из литературных источников по режимам сварки	80
4.4.3. Выбор способа сварки на основе экспертных оценок	99
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	102

¹ Рубрикация, которая есть в тексте пособия, но отсутствует в «Содержании», принадлежит цитируемому литературному источнику, реквизиты которого указаны в конце соответствующего фрагмента.

Учебное издание

Рудольф Анатольевич ЦЕПЕНЕВ

Иван Сергеевич БОЙКОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СПОСОБА СВАРКИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Учебное пособие
по курсовому и дипломному проектированию
для студентов специальности 150202
всех форм обучения

Редактор *Т.Д. Савенкова*
Технический редактор *З.М. Малявина*
Компьютерная верстка: *И.И. Шишкина*
Дизайн обложки: *И.И. Шишкина*

Подписано в печать 10.04.2009. Формат 60×84/16.
Печать оперативная. Усл. п. л. 6,3. Уч.-изд. л. 7,03.
Тираж 50 экз. Заказ № 1-03-09.

Тольяттинский государственный университет
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

