

М 497505
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им.Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ДЕНИСОВ Леонид Сергеевич

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
(НА ПРИМЕРЕ ТРУБОПРОВОДОВ)

Специальность: 05.03.06 - Технологии и машины сварочного
производства

08.00.20 - Стандартизация и управление
качеством продукции

Д и с с е р т а ц и
в форме научного доклада на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 1990

Работа выполнена в научно-проектно-техническом объединении (НПО) "Белстройнаука" Госстроя СССР.

Официальные оппоненты: д.т.н. Щербинский В.Г.
д.т.н., проф. Чернышов Г.Г.
д.т.н., проф. Акопов В.С.

Ведущая организация: Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ)

Защита состоится "10" Января 1991 г. в 14³⁰ часов на заседании специализированного совета Д 053.15.07 Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Государственного технического университета им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им.Н.Э.Баумана.

темпларе, заверенный по-
адресу.

16. XI 1990г.

Э.А.ГЛАДКОВ

М 497505

Подп. к печати 16.09.
анская ул., д.5

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа обобщает основные результаты научных исследований и разработок автора по созданию, внедрению и эксплуатации системы методов и средств, повышающих качество сварки в строительстве.

Главное внимание в исследованиях уделено объекту сварочных работ, как сложной управляемой системе, моделированию производственных факторов, формирующих качество соединений и механизм воздействия, обеспечивающим требуемое качество. Результаты разработок поэтапно (1967-1989 гг.) внедрялись в отрасли Минмонтажспецстроя СССР, Миннефтегазстроя СССР и на других объектах строительства при непосредственном участии и под руководством автора.

Актуальность проблемы. Сварочные технологии, широко используемые в строительстве, являются практически единственным способом соединения металлических элементов. Полный технологический цикл сварочных процессов при изготовлении металлоконструкций может составлять от 20 до 60 %, а систем трубопроводов от 10 до 50% общего времени строительно-монтажных работ.

Ежегодно в стране на предприятиях стройиндустрии и объектах строительства с помощью сварки изготавливают огромное множество различных сварных соединений (швов), из которых только незначительная часть, порядка 10-15 %, подвергается учету и контролю. А между тем, разрушение (отказ) соединения или нарушение герметичности выводит из строя не только отдельные узлы конструкции, но и целые сооружения. Отказы соединений чреваты огромными убытками и невозможными последствиями.

Уже сейчас, по данным ИЭС им. Е. О. Патона, убытки, соответствующие одному проценту брака сварных соединений по стране, эквивалентны непроизводительному труду 12 тыс. сварщиков и повторной сварке 700 тыс. тонн металлоконструкции, что оценивается сотнями миллионов рублей.

В Белоруссии ежегодные объемы сооружения городских систем газоснабжения составляют порядка одной тыс. км., а протяженность технологических трубопроводов на промышленных предприятиях, санитарно-технических систем гражданского и жилищного строительства - десятки тысяч километров, не считая сварных соединений различных металло- и железобетонных конструкций. Уровень брака сварных строительных соединений, в силу ряда причин, в различных организациях достигал 50 % и более. Затраты на исправление брака

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1497505

Денисов Л. С. Разработка и

по строительно-монтажному тресту с годовым планом работ 40...60 млн.руб. составляют ежегодно 100...240 тыс.руб. Еще большие убытки, по той же причине, несут заказчики при эксплуатации систем и сооружений.

Попытки повысить качество путем ужесточения требований не приносят успеха. За последние 10...15 лет требования к качеству сварки (по данным нормативной документации) возросли в 2...3 раза и более, однако реальный уровень качества за этот же период продолжал снижаться. Увеличение объемов контроля, наряду с повышением требований к качеству, также не решает проблему. Как свидетельствует практика 100 % сплошной контроль не гарантирует требуемого по СНиП качества. Например, по данным Госгортехнадзора СССР 100 % контроль газопровода первой категории сопровождается отказами в 7 случаях из 100 уже при приемочных испытаниях.

Результаты, полученные в данной работе и многими другими исследователями, указывают на сложный механизм воздействия многочисленных факторов производства и его инфраструктуры на все стадии технологического цикла сварочной продукции - проектирования, изготовления и эксплуатации. Каждый фактор, связанный с производственной деятельностью и техническим состоянием сварочного производства характеризуется определенным влиянием на качество конечной продукции. Становится очевидным, что в сложном производственно-техническом комплексе современной строительной отрасли недостаточно только отдельных мер, например улучшения технологии сварки, ужесточения требований к качеству, увеличению объемов контроля.

Исследования, выполненные автором за последние 25 лет, а также работы других ученых (В.Н.Волченко, А.К.Гурвич, В.И.Троицкий, Б.Г.Маслов, В.А.Черноусов, Б.Ф.Демидов, Б.А.Гололобов и др.) показывают, что необходимо комплексное и взаимосвязанное рассмотрение основных факторов, обуславливающих качество сварного соединения. Очевидно, что это можно реализовать только с помощью создания активных систем контроля, имеющих обратные связи между отдельными циклами сварки, контроля и смежного производства.

Вместе с тем, какие-либо разработки комплексных систем в сварочном производстве строительной индустрии вплоть до 1971 года не имели места. Более того, по мнению отдельных специалистов, создание и внедрение таких систем считалось крайне затруднитель-

ным по целому ряду причин. Индустрия строительно-монтажных работ характеризуется большим разнообразием объектов, их разбросанностью и удаленностью, неоднородностью конструкции и элементов, различием материалов, способов сварки и др. Отсутствие объективных показателей качества не позволяло создавать адаптивные системы контроля, что приводило к низкой достоверности его оценки. Основная цель контроля состояла только в выявлении и регистрации брака, а не его предупреждении.

Существующая фундаментальная теория управления формулирует только общие принципы и положения и не учитывает специфику сварочной техники, технологии и объектов производства.

Поэтому в работе решена крупная научная проблема, заключающаяся в обобщении и развитии теории управления применительно к сварочному производству, разработке вероятностных методов оценки и анализа качества, имеющая важное народнохозяйственное значение – повышение качества строительно-монтажного сварочного производства и экономию материальных ресурсов.

Цели и основные задачи работы состояли: а) в повышении качества сварочных работ и сварных соединений; б) в повышении оперативности контроля и выработки оператора-дефектоскописта; в) в экономии материальных, трудовых и энергетических ресурсов. Для достижения поставленных целей потребовалось решить следующие основные задачи:

- теоретически и экспериментально обосновать однородные совокупности сварных соединений;
- обосновать показатели качества сварочной продукции и методику статистического анализа дефектности;
- исследовать статистические связи производственных факторов с дефектностью и уровнем качества сварных соединений;
- разработать математические модели факторов производства и алгоритмы формирования качества;
- создать методические основы статистического регулирования технологических процессов с использованием ЭВМ;
- внедрить систему методов и средств обеспечения качества сварочных работ в строительной отрасли.

Методы исследования. При обосновании генеральных совокупностей сварных соединений и разработке показателей качества использованы методы математической статистики, специально накапливаемые

статистические данные по контролю сварных соединений. Исследование статистических связей различных факторов с дефектностью производилось экспериментально с использованием математического анализа. Разработка алгоритмов причинно-следственных связей факторов качества, методических основ статистического регулирования и управления качеством сварки базировалась на общей теории управления, законах теории вероятностей, математической статистике и статистического контроля, методах системного подхода к управлению сложными объектами, методах исследования операций. Обработку результатов исследований и их проверку проводили на ЭВМ ЕС 1022-36, ПЭЭМ 1840 и экспериментально.

Научная новизна. 1. С использованием теории вероятностей и математической статистики предложен и обоснован метод формирования базовых (генеральных) совокупностей сварных соединений, позволивший известные фундаментальные положения теории управления распространить на разнотипные изделия строительной продукции.

2. На основе установленных причинно-следственных связей, обуславливающих качество сварных соединений, создана и экспериментально обоснована многофакторная математическая модель управления качеством сварочных процессов, алгоритм расчета которой реализован в автоматизированной системе управления с регистрацией выходного качества сварочной продукции.

3. Обоснованы и установлены показатели качества сварочных работ, области их применения и на их основе предложены формулы уровня дефектности сварных соединений с учетом видов и размеров дефектов, их допустимости, применяемого способа сварки и совокупности соединений.

4. С использованием обоснованных показателей качества сварки и методов проективной геометрии получены инженерные формулы по оптимизации производственных факторов, позволившие прогнозировать предельно возможный уровень качества при данной технологии и объеме затрат на его повышение.

Практическая ценность работы и ее реализация. На основе теоретических, экспериментальных и прикладных исследований решена важная для народного хозяйства задача по разработке, созданию и внедрению методов и средств обеспечения качества сварочных работ в строительстве. В том числе, впервые в отечественной практике создана и внедрена система активного централизованного контроля

(ЦСК) на базе нового структурного подразделения для целой отрасли и региона, позволившая более чем в 3 раза снизить уровень брака, повысить в 5...10 раз оперативность контроля, снизить годовой расход металла и трудозатраты за счет уменьшения переделок брака.

На базе ЦСК разработана и внедрена автоматизированная информационно-управляющая система качества сварочных работ.

Созданы и внедрены руководства и рекомендации по управлению качеством, которые легли в основу республиканского стандарта РД.36.БССР.52-86 "Управление качеством сварочных работ в строительстве".

Результаты работы внедрены более чем в 100 строительно-монтажных подразделениях Союза и республик. В настоящее время система внедряется в ряде специализированных строительных объединениях Миннефтегазстроя СССР, Минмонтажспецстроя СССР, Минэнерго СССР, судостроительной промышленности и других строительных министерств и ведомств. За 1987 год только по Минмонтажспецстрою БССР получен подтвержденный реальный экономический эффект в сумме 555,9 тыс.рублей, уровень брака снижен с 26 % до 8,2 %. За счет повышения качества предотвращены потенциально возможные аварии и разрушения на газопроводах, теплофикационных сетях, металлоконструкциях и сооружениях в городах республики, что подтверждается нулевой статистикой отказов сварных соединений в Белоруссии с 1971г. - начала внедрения системы.

Работы проводились согласно Постановлению ЦК КПСС и Совмина СССР № 709 от 27 мая 1966г. "О дальнейшем развитии сварочного производства и повышения качества сварочных работ", ЦК КПБ и Совмина БССР № 148 от 10.05.76г. и № 269 от 06.09.76г., ГКНТ СССР, Госплана СССР, АН СССР № 573/137 от 10.11.85г., а также целевой комплексной программы БССР "Качество - 90".

Апробация. Результаты работ доложены и обсуждены на Всесоюзных научно-технических конференциях по сварке, контролю и управлению качеством (Минск, 1968г., 1970г. и 1971г.; Раубичи, 1974г.; Москва 1975г. и 1984г.; Краснодар, 1982г.; Макеевка, 1983г.; Донецк, 1987г.); на Объединенной сессии Научного и Координационного советов по сварке (Киев, 1982г. и 1988г.); на республиканских научно-технических конференциях по сварке и контролю качества (Могилев, 1972г., 1975г., 1978г., 1982г., 1985г.; Минск 1973г. и 1978г.); на совещаниях и семинарах различных министерств и ве-

домств (Москва, 1981г., 1987г., 1989г.; Киев, 1979г.; Минск, 1984г., 1986г., 1989г.; Днепропетровск, 1989г.).

За разработку и внедрение в строительстве комплекса научно-обоснованных методов эффективного повышения качества и надежности сварных соединений трубопроводов, металлоконструкции и сооружений в 1981г. была присуждена премия Совета Министров БССР.

Публикация. По результатам выполненной работы опубликовано 36 печатных работ, в том числе одна монография, три брошюры, получено одно авторское свидетельство на изобретение.

Автор считает необходимым отметить ряд организаций, которые занимают ведущее положение в стране по вопросам управления качеством сварочного производства: МГТУ им. Н.Э. Баумана, ИЭС им. Е.О. Патона, НИИмостов, НПО "Белстройнаука", ВНИИСТ, ЦНИИС, НИИхиммаш и др. Творческое содружество с коллегами ведущих организаций позволило автору правильно ориентироваться в постановке определенных проблем качества и вопросов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса. В последнее десятилетие как у нас в стране, так и за рубежом проводятся весьма интенсивные исследования по разработке и созданию комплексных систем управления качеством продукции. Началом этих работ в нашей стране можно считать создание в конце 60-х годов Саратовской системы бездефектного изготовления продукции. Несколько позднее практически аналогичные системы были разработаны во Львове, Краснодаре и Днепропетровске. Следует сразу отметить, что эти системы функционировали на предприятиях, выпускающих массовую однотипную продукцию. Однако их существование было непродолжительным, т.к. по своей сути они имели весьма существенный недостаток - отсутствие сравнительных показателей качества и обоснованного уровня качества на конкретную продукцию. Это не давало возможности формировать и регулировать качество продукции.

За рубежом, в первую очередь в Японии и США, комплексные системы управления качеством успешно функционируют в автомобильной, радиэлектронной, космической промышленности. Принципы построения и техническая оснащенность зарубежных систем радикальным образом отличается от отмеченных выше систем. Кроме того они лишены недостатков, присущих отечественным системам, а именно, как американские, так и японские системы базируются на вполне определенных показателях и уровнях качества конкретной выпускаемой про-

дукции.

Однако они оказываются неприемлемыми для разнородной и не однотипной продукции какой является сварочно-монтажной и строительные конструкции. Чтобы разработать комплексные системы управления качеством такой продукции необходимо было решить ряд задач теоретического прикладного и практического характера, которые изложены ниже.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ КВАЛИМЕТРИИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Как показано ранее, для условий строительного-монтажных сварочных работ характерна крайняя неоднородность. Следовательно, использование классической теории вероятностей и математической статистики, применяемой в машиностроении для однородной продукции, применительно к сварным строительным-монтажным конструкциям и их элементам практически невозможно.

Формирование однородных совокупностей. Для решения этой задачи проведены исследования и систематизация всего комплекса сварочных работ в строительстве. Экспериментальными исследованиями на объектах установлено, что для формирования генеральной совокупности сварных соединений за основу должна быть принята группировка по элементам производства (ЭП). В качестве группировочных признаков (ГП) приняты: диаметр трубопровода, толщина и марка свариваемого металла, способ сварки, способ контроля. Однако для формирования качественно однородной совокупности на строительном-монтажной площадке этих признаков оказалось недостаточно. Поиски решений показали необходимость введения дополнительных признаков - типа строительного-монтажного участка (бригады), условий сварки и их ограничений [2,3,10,11].

Для формирования однородной статистической совокупности соединений разработан алгоритм, учитывающий особенности строительного-монтажного сварочного производства:

$$\left. \begin{array}{c} \downarrow \downarrow \downarrow \\ \begin{array}{c} \text{ЭП}_1 + \text{ЭП}_2 + \dots + \text{ЭП}_i \\ \text{ГП}_1 + \text{ГП}_2 + \dots + \text{ГП}_i \\ \text{ГП}_{11} + \text{ГП}_{21} + \dots + \text{ГП}_{i1} \\ \vdots \\ \text{ГП}_{1j} + \text{ГП}_{2j} + \dots + \text{ГП}_{ij} \end{array} \end{array} \right\} = N_{iEC}, \quad \begin{array}{l} i = \overline{1, n}; \\ j = \overline{1, m}; \end{array}$$

где N_{iEC} - i -ая базовая совокупность (ЕС) или партия стыков.

За единицу ЕС принят сварочный стык или участок стыка. Элементы производства их группы для каждой совокупности должны из-

меняться незначительно и образовывать i -ую строительно-монтажную серию стыков, изготавливаемую за определенный цикл работы. Степень однородности проверяют математико-статистическими методами. Количество единиц продукции N , входящих в совокупность может представлять объем стыков i -ЕС, сваренной в течение года и более, полугодия, квартала, месяца.

Таким образом к статистически однородным базовым партиям стыков относят стыки, имеющие сходные конструктивные, технологические и эксплуатационные признаки. От известного определения партии продукции (ГОСТ 15895-77) введенное понятие "базовая совокупность" отличается тем, что продукция партии может быть изготовлена на разных объектах и в разное время. Однако для включения изделий в ЕС необходимым условием является наличие единой нормативно-технической документации (НТД) и идентичных условий производства.

На основе сформулированных положений установлены основные группы ЕС стыков по диаметру трубопроводов, толщине и марке стали, с учетом способов сварки и других особенностей. Это позволило применять статистическую обработку результатов контроля [2, 3].

В дальнейшем ЕС условно будем обозначать двумя основными характеристиками: способом сварки и типоразмерами соединения (диаметр трубопровода или толщина свариваемых элементов металлоконструкции).

Разработка показателей качества и обоснование их применения. Известно, что качество сварных соединений определяется совокупностью таких свойств, как механическая прочность, пластичность, сплошность наплавленного металла шва и околошовной зоны, коррозионная стойкость, состояние поверхности соединения, формы и др. Количественную характеристику свойств сварного соединения (участка шва) будем называть показателем качества (P_k).

$$P_k = f(\sum C_i) \quad (I)$$

где $\sum C_i$ - сумма измеряемых свойств сварного соединения, $i = \overline{1, n}$.

Поскольку качество соединения зависит от всякого рода несовершенств наплавленного металла, различных отклонений соединяемых элементов, поверхности, форм и размеров шва, отклонений по механическим, химическим и структурным характеристикам, называемым в общем случае - дефектами, то под показателем качества правомерно рассматривать показатель дефектности (несовершенство)

сварного соединения.

$$P_k = f(\sum C_i) = \sum A_{ij} \quad (2)$$

где $\sum A_{ij}$ - сумма дефектов i -го вида с j - характеристиками $i = 1, n$; $j = 1, m$.

Каждый дефект - это несоответствие установленным требованиям НТД. Поэтому показатель качества включает в себя параметры дефектов, количественно описывающие их состояние. Например, параметры формы шва - высота его усиления, ширина и др.; параметры дефекта несплошности типа непровар - длина, ширина, высота и т.д. Под параметрами таким образом следует понимать вид и характер дефекта, его размеры, а для БС и структуру дефектности.

До проведения данной работы в практике строительства использовали единственный общий показатель - доля брака стыков для всех, в том числе разнородных сварных соединений. Применение такого показателя не обеспечивало необходимой информативности, достоверности и объективности. Предлагаемые в разное время показатели: доля суммарной дефектности (бездефектности) в процентах, относительная площадь дефектов и другие не нашли применения из-за сложности расчетов, малой объективности, но главным образом из-за отсутствия связи с действующей нормативной документацией и непредставительностью выборочных значений показателей по отдельным совокупностям.

Показатель числа дефектов (Д). Оценивает количество дефектов на контролируемом участке шва, вид и характер дефектов, их размеры, частоту. В соответствии с требованиями СНиП расчетные формулы устанавливают общую и недопустимую дефектность,

$$\bar{D}_{io} = \sum A_{io} / \sum n; \quad (3)$$

$$\bar{D}_{ib} = \sum A_{ib} / \sum n; \quad (4)$$

где $\sum n$ - контрольная выборка участков стыка (или стыков) i - базовой совокупности; $\sum A_{io}$ - сумма всех дефектов i -вида, i - совокупности в $\sum n$; $\sum A_{ib}$ - сумме недопустимых по СНиП дефектов i -вида i - совокупности в $\sum n$; $\bar{D}_{io}$ и $\bar{D}_{ib}$ - среднее число дефектов на один участок или стык.

Показатель протяженности дефектов (P). Оценивает длину дефектов на участке или стыке. Аналогично показателю (Д) имеем:

$$\bar{P}_{io} = \sum L_{io} / \sum n; \quad (5)$$

$$\bar{P}_{ib} = \sum L_{ib} / \sum n; \quad (6)$$

Комплексный показатель. Для оценки структуры дефектности

(вид - размеры, количество) и их соотношений в целом по базовой совокупности стыков введен комплексный показатель $|\bar{D}_0, \bar{\rho}_0, \bar{D}_s, \bar{\rho}_s|$. Используя информацию по $\bar{D}$ или $\bar{\rho}$, или совместно за определенный цикл контроля (например, месяц, квартал, год) комплексный показатель может характеризовать состояние сварочного производства, его процессов, условий. Такой показатель является представительным для каждой конкретной технологии, исполнителя и в целом для строительной организации. Численное выражение показателя и его структура назованы статистической формулой дефектности базовой совокупности (ФД БС). Общее выражение ФД БС:

$$\Sigma \Sigma |\bar{D}_0, \bar{\rho}_0, \bar{D}_s, \bar{\rho}_s| = \Pi(X_0, X_s) + \Psi(Y_0, Y_s) + H(Z_0, Z_s) + \dots, \quad (7)$$

где Π, Ψ, H - дефекты (поры, шлаковые включения, непровары); X_0, Y_0, Z_0 и X_s, Y_s, Z_s - общее и недопустимое количество и протяженность дефектов.

Частные выражения для $\bar{D}_0, \bar{\rho}_0$ и $\bar{D}_s, \bar{\rho}_s$:

$$\bar{D}_0 = \frac{\Sigma D_0}{\Sigma n} = \frac{\Sigma \Pi_0}{\Sigma n} + \frac{\Sigma \Psi_0}{\Sigma n} + \frac{\Sigma H_0}{\Sigma n} + \dots, \quad (8)$$

$$\bar{\rho}_0 = \frac{\Sigma \rho_0}{\Sigma n} = \frac{\Sigma \rho_{ns}}{\Sigma n} + \frac{\Sigma \rho_{ms}}{\Sigma n} + \frac{\Sigma \rho_{ls}}{\Sigma n} + \dots, \quad (9)$$

Для показателей $\bar{D}_B$ и $\bar{\rho}_s$ частные выражения формулы дефектности аналогичны выражениям (8) и (9). Показатели $\bar{D}$ и $\bar{\rho}$ применимы для всех неразрушающих и разрушающих методов контроля без сложных расчетов, не требуют изменения существующих форм заключений и иной документации на контроль, отражают стохастические явления технологических процессов и поэтому могут использоваться как статистические характеристики базовых совокупностей сварных соединений.

Показатель забракованных участков шва ($B_{БС}$). Для сравнения объема забракованных участков по базовым совокупностям использовали показатель альтернативной оценки, выраженный в процентах к общему объему контроля. Показателем $B_{БС}$ оценивают процент забракованных участков шва (Σm) в выборке стыков (Σn) i -ой БС.

$$B_{БС} = \frac{\Sigma m}{\Sigma n} \cdot 100\% \quad (10)$$

Область применения показателя. Показатель $\bar{D}$ используют при оценке сварных соединений, имеющих незначительную длину, для трубопроводов диаметром до 100 мм и металлоконструкций с длиной

шва до 300 мм. Показатель ℓ используют для стыков трубопроводов диаметром ≥ 200 мм и металлоконструкций с длиной шва ≥ 500 мм. Установление границы применимости этих показателей обусловлено типами и размерами встречающихся дефектов в этих соединениях. Статистический анализ более чем на 70000 стыках сварных швов показывает, что в трубопроводах диаметром до 100 мм чаще всего (95%) возникают объемные дефекты (поры, шлаковые включения), а образующиеся плоскостные дефекты (непровары, подрезы) имеют протяженность 3...4 мм, близкую к объемным дефектам. И вполне правомерно качество швов таких соединений оценивать числом дефектов.

В сварных швах протяженностью более 500 мм наиболее вероятная длина плоскостных дефектов с учетом ЕС составляет 20...100 мм. В этом случае оценка по числу дефектов является не объективной и малоинформативной. Для соединений трубопроводов размером 100-200 мм или металлоконструкций длиной 300...500 мм следует применять D или ℓ в зависимости от протяженности дефектов. При неизвестной протяженности и неотлаженной технологии используют D и ℓ одновременно.

Количественные показатели применяют для определения состояния технологических процессов и статистического регулирования. Комплексные показатели позволяют осуществлять статистический анализ дефектности по базовым партиям стыков, а также факторный анализ связей "причина-дефект".

Альтернативный или качественный показатель по доле брака используют для планирования уровня качества в информационных письмах и отчетной документации.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Для каждого способа сварки однородных сварных соединений в зависимости от конструкции, материалов, узлов и других факторов производства образуется и формируется вероятностная количественная структура дефектности.

Структура дефектности - это совокупность дефектов различающихся по виду, характеру, размерам и количеству, характеризующая базовую совокупность стыков.

Исследование распределения показателей проводили на основе статистического анализа и изучения дефектности по каждой совокупности стыков с целью установления вероятных структур дефектов и законов их формирования. Рассмотрим статистику дефектности, выяв-

ляемому неразрушающими методами контроля. Объем анализируемых сварных соединений включал 256478 участков швов различных строительных объектов [2,14,15,17].

Анализ видов дефектов. При электродуговой сварке (ЕС стыков труб диаметром 57...108 и 159...219 мм) основными дефектами являются внутренние газовые включения (поры) до 65 % смещения, подрезы, нарушения формы и размеров шва* до 12 % шлаковые включения до 18 % и непровары до 5 %. С ростом диаметров ЕС стыков 325 мм и более растет число непроваров - 19 % и дефектов формы шва - 20 %. Как видно из анализа, наибольший удельный вес составляют газовые поры и шлаковые включения, из которых 75...85 % по своему характеру являются одиночными и 15...25 % обнаруживаются в виде цепочек или скоплений. Дефекты располагаются по всему сечению шва. Непровары преимущественно в корне шва. Дефекты формы шва преимущественно в виде подрезов и смещений. Наиболее опасные дефекты, типа трещин, в сварных соединениях не обнаружены.

Анализ дефектов по размерам и количеству. С использованием установленных показателей качества выполнен статистический анализ размеров и величин дефектов для различных способов сварки и базовых совокупностей. В качестве примера приведены результаты для ручной электродуговой сварки ЕС стыков, диаметром 325-500 мм, с толщиной стенки 8...10 мм.

ЕС стыков 325-500	Количество, %		Размеры, %	
	Д _о	Д _б	ℓ _о	ℓ _б
П - поры	56,0	20,0	12,5	32,0
Фш - формы шва	17,0	18,0	21,8	29,3
Ш - шлаковые включения	15,0	26,2	4,8	26,5
Н - непровары	12,0	17,6	61,7	49,3

Из сравнения полученных результатов видно, что из всех видов дефектов на долю пор приходится наибольший процент - 56%, в то время как непровары составляют 12 %. Однако при этом протяженность пор имеет минимальное значение - всего 12,5 %, а непроваров максимальное - 61,7 %. Следовательно в данной ЕС технологический процесс сварочных работ и управление качеством должны быть нацелены в первую очередь на устранение опасных дефектов типа непро-

* - в дальнейшем дефекты формы шва

вар. Вторым важным выводом является обязательность оценки качества сварки данной БС по показателю ℓ .

Анализ дефектности по годовому циклу сварочных работ обнаруживает существенный рост количества и размеров дефектов в осенне-зимние и весенние периоды. Особенно большой скачок дефектности появляется при переходе на сварку других марок стали, сварочных материалов, нового оборудования и т.д., совпадающих к тому же с неблагоприятными погодными условиями. Размах колебаний по Δ в этих случаях составляет от 5,0 до 15,0 деф/уч. и по ℓ от 50 до 200 мм/уч. Для устранения подобных аномалий внедрены предупредительные функции контроля и профилактические системные меры [2, 5].

Анализ структуры дефектности. Наиболее полную картину состояния качества дает анализ структурной формулы дефектности по каждой базовой совокупности стыков.

При структурном анализе определяют $\bar{\Delta}$, $\bar{\ell}$ и недопустимы по СНИП дефекты Δ_B и ℓ_B на участке сварного шва длиной 0,3 м.

На основе полученных результатов и используя полное выражение (7) или частные выражения $\Phi\Delta$, $\Phi\ell$ (8) и (9) можно получить статистические уравнения для каждой базовой совокупности. Например, полная статистика дефектности БС 325...500 мм, ручной электродуговой сварки выражается следующим уравнением:

$$\sum \sum \left| \frac{\bar{\ell}_0}{\ell_0} \right| = \left(\frac{10,3}{5,56} \right) = P_{0,2}^{1,3} + W_{0,05}^{0,3} + H_{4,2}^{6,0} + ПШБВ_{2,1}^{2,5} + \Phi_{ш0,04}^{0,2} \quad (II)$$

Формула (II) получена за годовой цикл сварочных работ. Общий объем контрольных выборок за год составил 4905 участков. Как видно наибольший удельный вес имеет дефект непровар (~60 %). А из общей протяженности порядка 70 % непроваров превышают допустимые по СНИП нормы, скопления, цепочки пор и шлаков составляет 24% и т.д.

Для БС 57...108 мм, ацетилено-кислородной сварки, уравнение (8) принимает вид:

$$\sum \sum \left| \frac{\Delta_0}{\Delta_0} \right| = \left(\frac{0,424}{0,03} \right) = P_{0,02}^{0,3} + W_{0,04}^{0,03} + H_{0,03}^{0,05} + ПШБВ_{0,01}^{0,03} + \Phi_{ш0,01}^{0,01} \quad (12)$$

Формула (12) получена за годовой цикл сварки с общим объемом выборки 743 участков. В данной БС частота появления дефектов - I пора на 3,3 участка, I непровар размером до 5 мм на 20 участков шва и т.д.

Структурная формула дефектности дает наглядное представление о качестве сварочной продукции по каждой совокупности в конк-

ретенных условиях монтажной или заводской сварки. Установлено, что для каждой строительно-монтажной организации показатели количества и протяженности дефектов для одних и тех же базовых стыков различны. Колебания дефектности по уровню, видам, размерам и количеству свидетельствует о колебании технологических процессов, как случайных, так и постоянных (переменных) систематических возмущений. Колебания технологических процессов, таким образом, могут регистрироваться показателями дефектности D и ℓ , что является основным выводом статистического анализа, используемого при управлении качеством сварки [2,26].

Эмпирические распределения показателей дефектности. Любая совокупность стыков может быть охарактеризована эмпирическим законом распределения через функцию распределения, выражающую дефектность данной совокупности. Под эмпирической функцией распределения будем понимать функцию $F'(x)$, определяющую для каждого значения X (в нашем случае D, ℓ, B) относительную частоту события $X < x$, т.е.

$$F'(x) = \frac{n_x}{n} \quad (13)$$

или переходя к показателям дефектности:

$$F(D) = \frac{D_x}{n}; \quad F(\ell) = \frac{\ell_x}{n}; \quad F(B) = \frac{B_x}{n}, \quad (14)$$

где D_x, ℓ_x, B_x - число вариантов, меньших x ; n - объем выборки.

Эмпирическая функция распределения выборки служит для оценки теоретической (интегральной) функции генеральной совокупности. Теоретическая функция $F(X)$ определяет вероятность события $X < x$, а эмпирическая $F'(x)$ - относительную частоту того же события, т.е. $F'(x)$ стремится по вероятности к вероятности $F(X)$. Это следствие является важным для приближенного представления распределения D, ℓ, B в базовой совокупности стыков по эмпирической функции, а также для разработки методики выборочного статистического регулирования технологических процессов сварочного производства.

Выполнение на обширном статистическом материале расчеты функции и параметров распределения позволили установить, что показатель D и B приближенно описываются законом нормального распределения, а ℓ законом Вейбула-Гнеденко [2].

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА

Разработка показателей качества сварных соединений и установление вероятностных законов их распределения позволили перейти к очередному этапу – разработке математических моделей формирования качества. Математическая модель описывает взаимосвязь установленных показателей качества и факторов производства, влияющих на их формирование.

Исследование факторов производства, обуславливающих качество сварки. Статистические исследования, выполненные нами за последние десять лет позволили установить основные производственные факторы и их удельный вес при формировании качества сварки в строительно-монтажном производстве [1,2,4,13,15,17,32,34,36].

Фактор	Удельный вес, %
1. Подготовка и сборка под сварку	33,7
2. Исполнители (квалификация)	22,3
3. Сварочные материалы	18,1
4. Сварочные процессы	21,2
5. Сварочное оборудование	4,7

Следует отметить, что в общем случае на качество выполнения сварочных работ значительное влияние могут оказывать так называемые причины организационного характера, которые выходят за рамки данной работы и поэтому не рассматриваются.

Каждый фактор характеризуется своими только ему присущими параметрами. Будем называть их факторными параметрами (ФП). Например, фактор "Сварочные электроды" имеет параметры: состояние внешнего вида покрытия (наличие отколов, трещин, вмятин), прочность покрытия (обмазки), равномерность слоя обмазки (наличие и размеры эксцентрисности-разнотолщинности), состояние обмазки (степень влажности), технологические параметры (стабильность горения дуги, плавление обмазки, отделяемость шлака) и др.

Параметры, удовлетворяющие требованиям ГОСТ, ТУ и позволяющие выполнять технологические операции с требуемым по СНиП качеством будем относить к положительным факторным параметрам (ПФП), а не удовлетворяющие требованиям НТД – отрицательными (ОФП). Исследованиями показано, что ОФП формируются под действием различных причин. Например, ОФП – недопустимая влажность обмазки электродов – может быть сформирован по следующим причинам: плохая упаковка электродов, неудовлетворительная транспортировка, пог-

рузка и складирование (открытое транспортное средство, сырой, неотапливаемый склад), не выполнена прокатка, отсутствует герметичный пенал у сварщика и т.д.

Следовательно ОФП может характеризоваться какой-то одной или одновременно несколькими причинами и его значение существенно зависит от их влияния. При выявлении недопустимой дефектности - брака, чтобы определить его происхождение необходимо выявлять ОФП, устанавливать перечень возможных причин и среди них доминирующие. Это одна из главных целей факторного анализа.

Установление действующих причин выполняли путем контроля и анализа состояния факторов по конкретным объектам и базовым совокупностям. Для этого ежегодно обследовали до 500 объектов. Итожным результатом исследований и анализа было установление статистической связи между доминирующими причинами и структурой дефектности [2].

Исследование связей факторов производства с дефектностью. Методика учета и анализа информации о связях факторов с дефектностью включает:

- выявление и учет действующих факторов на объекте;
- установление ОФП и их причин;
- систематизация причин и выделение доминирующих;
- определение частоты доминирующих причин (ДП);
- установление структуры дефектности по каждой ДП;
- установление количественной связи "Причина-дефект".

Исследование статистической зависимости между действующими на производстве факторами и образованием структуры дефектности проводили аналитически и графически.

Рассмотрим графическую схему причинно-следственных связей фактора, его элементов и параметров каждого элемента (рис.1). На горизонтальном стержне расположены (перпендикулярно или под углом) факторы, характеризующие структуру и состояние производства. На ветвях факторов таким же образом располагаются его элементы, характеризующие структуру факторов. На ветвях элементов размещены параметры элементов. Вся схема имеет вид дерева с таким расположением, что каждая начальная ветвь имеет непосредственную связь с последующей и ее влияние прослеживается до основной изучаемой характеристики. Например, для фактора "Исполнители" элементы: возраст, стаж, разряд и т.д. Соответственно параметры: годы исполнителя, годы стажа работы по сварке, присвоенный разряд и т.д.

Определяя ОДП и нанося их на схему, устанавливают структуру причин по всем ОДП. Выявляют наиболее значащие, так называемые доминирующие причины (ДП). В дальнейшем определенной структуре дефектности устанавливают соответствующую ей структуру ДП (с аналитическим расчетом вероятности соответствия). Установлено, что при проведении сварочно-монтажных работ действует большое число

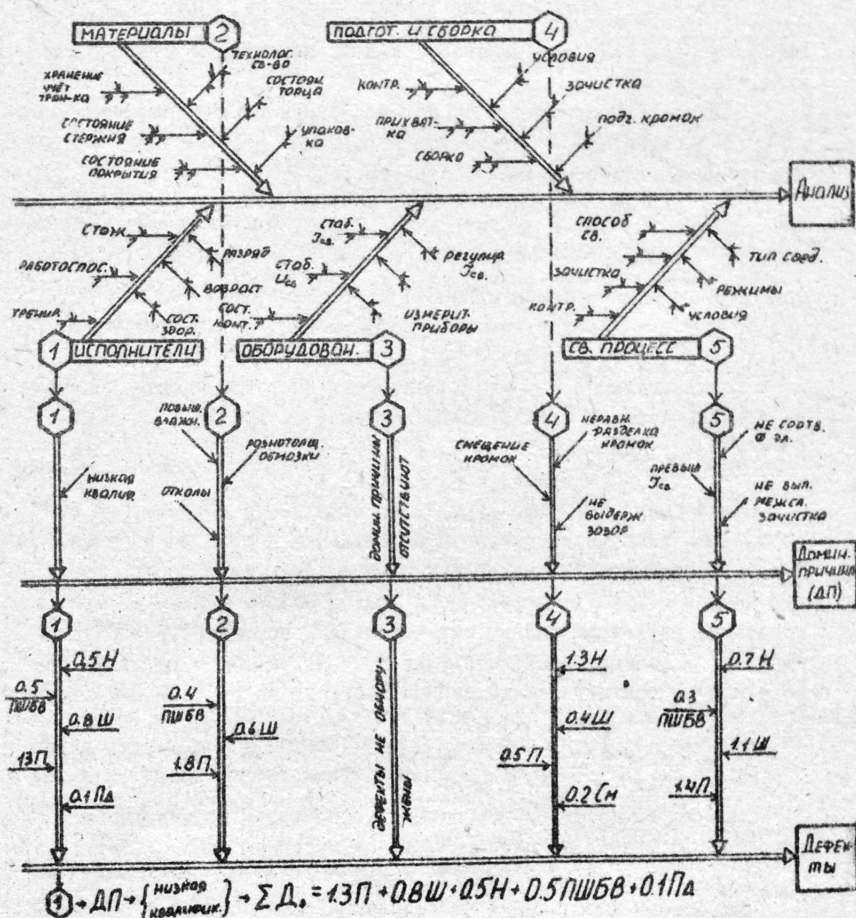


Рис.1. Причинно-следственные связи факторов с дефектностью. П, Ш, Н, Пд, См-дефекты: поры, шлак, вкл, непровар, подрез, смещение кромок

ОФП и ДП различных факторов (от 50 до 500 и более), что делает практически невозможным установление их связей с дефектностью путем обычного наблюдения. Для устранения такой трудности автором разработана экспериментально-расчетная схема определения ОФП, причин и факторов по алгоритму: "Фактор-причина-дефект" (Ф-П-Д). По этой же схеме могут устанавливаться и доминирующие причины. Каждая ДП по конкретной базовой совокупности объектов характеризуется: числом абсолютных или относительных повторений, суммой забракованных участков контроля, видом, характером и размерами дефектов [2, 36].

Следовательно, каждую ДП или сочетание двух-трех причин можно описать присущей ей структурной формулой дефектности, которую эта причина (или сочетание) образует:

$$ДП_i \Rightarrow \Sigma D_i = K_{\Pi} + K_{\text{ш}} + K_{\text{Н}} + \dots + K_{d_i} \quad (15)$$

или

$$ДП_i \Rightarrow \Sigma \rho_i = K_{\Pi} + K_{\text{ш}} + K_{\text{Н}} + \dots + K_{\rho_i} \quad (16)$$

где $ДП_i$ - доминирующая причина i -го фактора, i -ой БС; K_{Π} , $K_{\text{ш}}$, $K_{\text{Н}}$ и т.д. - статистические коэффициенты, характеризующие количество, протяженность и вид дефектов.

Соответственно формула дефектности $ДП_i$ может быть получена по всем частным показателям, например по D_6 , ρ_6 , D_0 , ρ_0 :

$$ДП_i \Rightarrow \Sigma D_{6i} = K_{\Pi} + K_{\text{ш}} + K_{\text{Н}} + \dots, \quad (17)$$

$$ДП_i \Rightarrow \Sigma \rho_{6i} = K_{\Pi} + K_{\text{ш}} + K_{\text{Н}} + \dots, \quad (18)$$

Аналогично получают формулы по отдельному объекту, по исполнителю, по производственной организации и отрасли в целом.

Для практических целей важно определить вероятность того, что данная структура дефектности предоставляет данную ДП или сочетание двух-трех сильно выраженных ДП. Вероятность $P(\Phi_i, D_j)$ где Φ_i - фактор, представляющий причины, а D_j - дефекты, определяют по статистическим данным контроля за годовой цикл работ:

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \Sigma P(\Phi_i) \cdot P(D_j / \Phi_i) \\ P_j &= \Sigma P(D_j) \cdot P(\Phi_i / D_j) \\ \text{при } \Sigma \Sigma P(\Phi_i, D_j) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Оценку точности, установленных оператором причин (ДП_о) на объекте, проверяют по экспериментальным данным (ДП_э), т.е.

$$\Sigma ДП_{\text{э}} / \Sigma ДП_{\text{о}} \cdot 100\%$$

На основе выполненных исследований нами впервые в практике

сварочного производства, для различных БС стыков и объектов сварки, строительных подразделений теоретически установлены и экспериментально подтверждены причинно-следственные связи формирования качества в виде цепочки "фактор-причина-дефект". Установление этих связей позволило создать весьма важные и необходимые предпосылки для управления технологическим циклом производства сварочно-монтажных работ. Определены главные доминирующие причины и структуры их дефектности с вероятностью соответствия 0,75...0,85. Разработана методика анализа статистических связей, как часть факторно-функциональной теории формирования качества.

Разработка моделей формирования качества. Выше показано, что формирование качества происходит под действием доминирующих факторов, каждый из которых оказывает влияние в отдельности и во взаимосвязи с другими. Установить функциональные зависимости этих взаимосвязей довольно сложно, поэтому задача решалась с помощью математического моделирования. В основу создания моделей оценки и формирования качества положены причинно-следственные связи "фактор-причина-дефект" [36].

На рис.2 представлена многофакторная модель формирования, оценки и управления качеством сварочно-монтажных работ. Математически: модель можно записать в следующем виде:

$$C_{вых} = F(C_{вх}, P_c, Y_a), \quad (20)$$

где $C_{вых}$ - выходной уровень качества; $C_{вх}$ - входной уровень качества; P_c - систематические и случайные помехи; Y_a - регулирующие или управляющие воздействия.

Формирование входного качества $C_{вх}$ и его оценку $C_{вх}(\Sigma D, \ell)$ выполняют путем предварительной оптимизации факторов по параметрическим моделям (рис.3).

Сущность управления качеством по модели F , заключается в сравнении $C_{вых}$ с $C_{зад}$ (расчетным). В случае $C_{вых} < C_{зад}$ осуществляют регулирование (корректировку) технологических процессов и параметров факторов, обуславливающих $C_{вых}$. Алгоритм регулирования на основе имеющейся информации по $C_{вых}, C_{вх}, P_c, Y_a$ описан в следующем разделе и представлен на рис.4.

Принципиальным моментом при разработке расчетного алгоритма регулирования является определение значения научно обоснованного выходного уровня качества, применительно к конкретным условиям производства. С этой целью нами с использованием методов проек-

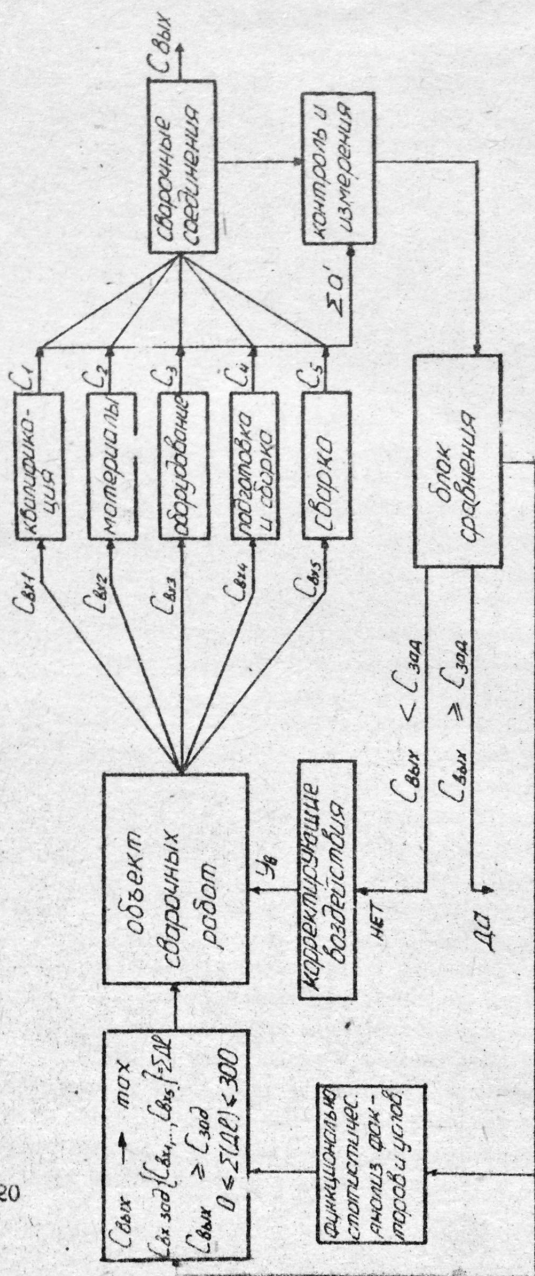


Рис.2. Многофакторная модель управления качеством

тивной геометрии получено выражение для расчета оптимального значения $C_{\text{вып}}$ с учетом всех доминирующих факторов [32, 36]

$$C_{\text{вып}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot V_{\Phi_i}}{\sum_{i=1}^n K_i} \cdot \cos \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot V_{\Phi_i}}{\sqrt{K_1^2 + K_2^2 + \dots + K_n^2} \cdot \sqrt{(K_1 V_{\Phi_1})^2 + (K_2 V_{\Phi_2})^2 + \dots + (K_n V_{\Phi_n})^2}} \quad (21)$$

где $C_{\text{вып}}$ - оптимальное значение качества сварки ($0 \leq C_{\text{вып}} \leq 1$);

V_{Φ_i} - обобщенное значение состояния качества i -го фактора ($i = \overline{1,5}$), см (22); K_i - весовой коэффициент i -го фактора.

Как видно (21) значение $C_{\text{вып}} = f(\sum V_{\Phi_i})$, где $i = \overline{1,5}$. В свою очередь $V_{\Phi_i} = f(\text{парам}_i)$, где $i = \overline{1,7}$, т.е. каждый из пяти факторов определяется состоянием его параметров. Параметры факторов следует рассматривать как функциональный механизм, обеспечивающий $C_{\text{вып}}$ заданное.

Для определения оптимального значения i -го фактора или параметра фактора получено следующее выражение:

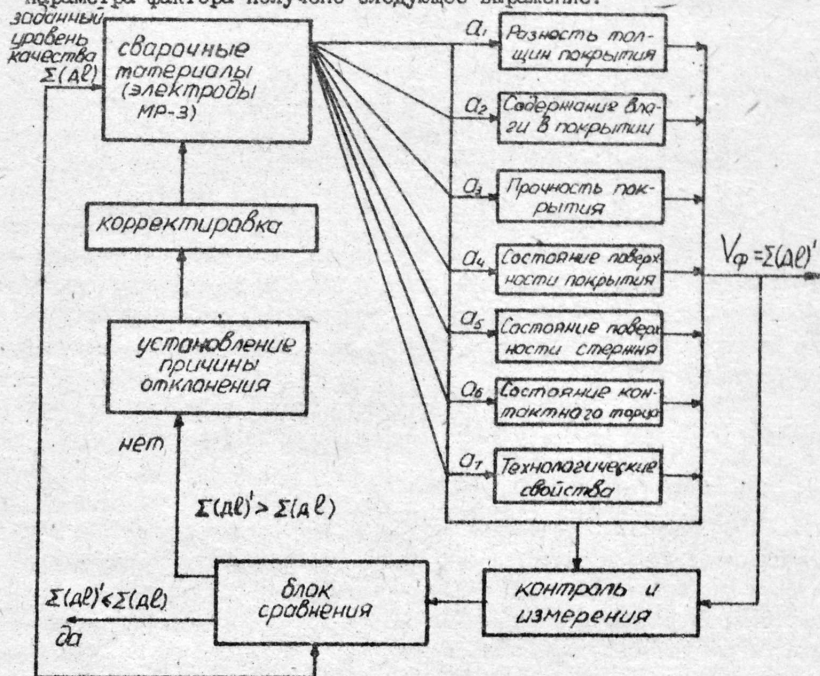


Рис.3. Параметрическая модель фактора "Сварочные материалы" на примере электродов МР-3

$$V_{\phi i} = 1 - \exp\{-(R_i - A_i)/(B_i - E_i)\} \quad (22)$$

где A_i - недопустимое значение фактора (параметра); B_i - максимально возможное значение фактора (параметра); E_i - достигнутое значение; R_i - планируемое значение.

Анализ выражений (21) и (22) показывает, что значения $C_{\text{вых}}$ и V_{ϕ} колеблются в интервале от 0 до 1, при этом значение 1 соответствует идеальному процессу.

При планировании оптимального уровня качества сварных соединений пользователь задачи на ЭВМ может варьировать значениями факторов качества для достижения $C_{\text{вых}}$ путем наименьших затрат. Затраты (планируемые) на достижение необходимого технического уровня фактора рассчитываются по формуле:

$$Z_{\phi i} = K_{zi} \frac{1}{\sqrt{1 - (V_{\phi i} \cdot K_i)^2}}, \quad (23)$$

где $Z_{\phi i}$ - затраты на достижение планируемого уровня i -го фактора; K_{zi} - коэффициент затрат i -го фактора; $V_{\phi i}$ - планируемое значение i -го фактора (параметра).

Коэффициент затрат рассчитывается как:

$$K_{zi} = \frac{Z_{pi}}{\ln\left(\frac{Z_{ni} - Z_{pi}}{Z_{pi} - Z_{mi}} \cdot \frac{Z_{ni} - Z_{pai}}{Z_{pai} - Z_{mi}}\right)}, \quad (24)$$

где Z_{pi} - затраты по фактору за предыдущий период; Z_{ni} - недопустимо низкие затраты по фактору; Z_{ppi} - затраты по фактору, планируемые за предыдущий период; Z_{mi} - максимально возможные затраты по фактору; Z_{pai} - затраты по фактору за период, предшествующий предыдущему.

Затраты на достижение планируемого уровня качества сварочных работ i -БС стыков (Z_{bc}) определяется по формуле:

$$Z_{bc} = \sum_{i=1}^n Z_{\phi i}; \quad n - \text{количество факторов} \quad (25)$$

Возможность определения затрат на достижение требуемого (оптимального) уровня качества сварочного производства позволяет проводить экономическое обоснование по совершенствованию сварки. Кроме того, рассчитывая коэффициент затрат K_z по формуле (24), появляется возможность определить порог, после которого затраты на устранение брака становятся меньше затрат на повышение качества, т.е. определять экономический предел используемой технологии сварочного производства [30,32,36].

Используя полученные соотношения и математические модели,

были получены расчетные алгоритмы определения оптимальных значений параметров факторов и заданного уровня качества.

Расчеты по формулам (21), (22), выполненные на ЭВМ ИОЗБ и III ЭВМ И840 применительно к объектам сварочного производства Минмонтажспецстроя ВССР, выявили возможности и резервы повышения качества как по совершенствованию отдельных параметров, так и практически всех факторов производства.

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Выполненные разработки [1...35,36], явились фундаментом для создания комплексной системы управления качеством сварочного производства. В основу управления положен принцип обратных связей между выходом и входом системы. Объектом управления в системе является качество сварных швов, выраженное через дефектность и ее структуру, как критерия управления.

Цель и задачи системы. Рассмотрим реальный технологический процесс с точки зрения формирования потока дефектов или структуры дефектности. В общем случае формирование дефектов описывается стохастической моделью:

$$C(t) = S(t) + Q(t), \quad (26)$$

где $C(t)$ - суммарный показатель дефектности; $S(t)$ - дефектность, вызванная систематическими погрешностями ОП, и $Q(t)$ - дефектность, вызванная случайными причинами.

На распределение показателя дефектности оказывает влияние только систематические отклонения ОП. Общее распределение принимает асимметричный характер за счет смещения среднего значения от заданного уровня. Это обстоятельство указывает на разладку технологического процесса, который можно выявить и устранить, т.е. осуществить регулирование и стабилизацию путем корректировки ОП. Для случайных отклонений величина центра распределения и размаха с течением времени остается неизменной.

Следовательно, чтобы осуществлять регулирование качества сварки на объекте необходимо анализировать алгоритм "Ф-П-Д" по обратным связям "дефект-причина-фактор" и производить корректирование технологии и условий производства. Эта задача и решается с помощью предложенной модели (рис.2), положенной в основу системы управления. В модели каждый фактор имеет цель:

$$U'_1 = f_1(\Phi_{KB}), U'_2 = f_2(\Phi_{CM}), U'_3 = f_3(\Phi_{BB}), \dots; U'_5 = f_5(\Phi_{DB}) \quad (27)$$

Отсюда установим общую цель достижения качества сварки на объекте управления по БС стыков, строительно-монтажной организации и отрасли

$$C_0' = \sum C_i = C_{\text{зад}}. \quad (1.3)$$

В n -мерном пространстве ситуаций и целей факторов, цель $C_{\text{зад}}$ формируется в модели как произведение скалярных векторов цели. Рассмотрим алгоритм решения целеполагания по выражениям (21)... (26) и практический пример по БС стыков диаметром 325+500х8+10 мм ручной дуговой сварки.

Алгоритм решения целевой функции с комплексом задач по планированию и затратам в автоматизированной системе управления представлен на рис.4. В состав комплекса включены задачи по определению состояния сварочного оборудования, сварочных материалов, подготовительных и сборочных операций, технологических процессов сварки, а также состояния квалификации исполнителей. Алгоритм включает задачи по планированию затрат на достижение необходимого уровня качества (цели) с учетом состояния всех факторов. При решении задач на печать выдаются два вида выходных документов: "Оценка факторов качества сварных соединений" и "Планирование уровня качества и затрат на его достижение" в разрезе всей отрасли. Входной документ "Факторы сварочного производства" и "Талон запроса" определяют объем и характер необходимой пользователю выходной информации. Периодом выборки может быть планируемый квартал или год. Код организации определяет необходимый разрез выдаваемой формы. Объем выборок (количество факторов при определении качества) определяет файл (факторов качества). Входное сообщение массива состоит из записей двух типов. На основании массивов "текущие значения факторов", "справочника факторов", "классификатора организаций", "классификатора базовых совокупностей" формируется выходной массив "Оценка факторов сварочного производства" и массив "Планирование уровня качества и затрат".

Алгоритм решения состоит из следующих этапов:

- ввод и формирование массивов входной информации;
- формирование массивов для расчетов;
- формирование массивов выходной информации;
- выдача на печать выходной информации в форме выходного документа.

Результаты расчета по приведенному алгоритму БС стыков

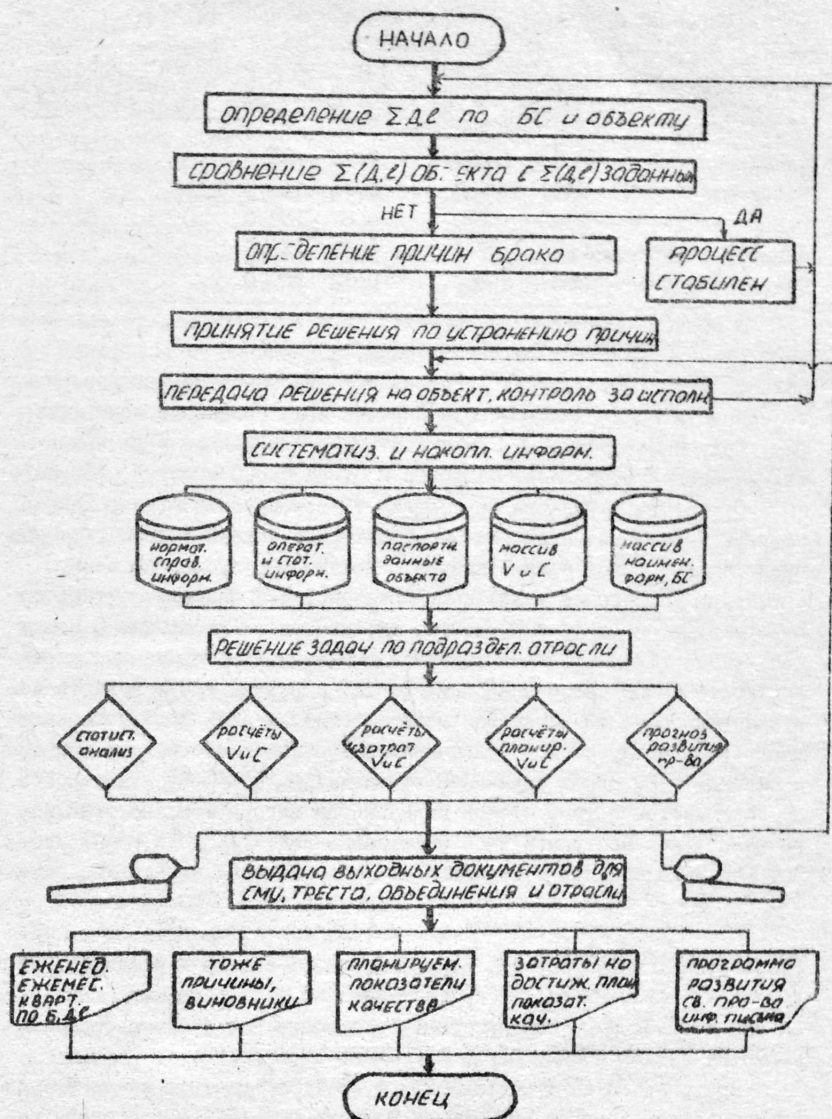


Рис.4. Блок-схема программы, реализующей алгоритм решения целевой функции

(325...500) мм приведены ниже:

Факторы	Достиг- нутый ϵ , мм	Плани- руемый ϵ , мм	Зна- чение V_{ϕ}	Σ Зат- рат т. руб.	Обобщ. значен. $C_{зад(пл)}$	Σ Затрат по $C_{зад(пл)}$ т. руб.
Исполнители (квалифик.)	250	260	0,75	55,0		
Материалы	240	250	0,71	110,0		
Оборудование	260	270	0,87	180,0	0,76	625,0
Подготов. и сборка	230	240	0,67	130,0		
Сварочн. процесс	250	260	0,72	150,0		

В примере значение A принято по всем факторам, равным нижней границы разлаженности процессов, а значение B - верхней области стабильности. Как видно из примера значительный резерв и возможности повышения качества имеются практически по всем факторам. Полученное значение $C_{зад}$ достижимо при вкладе в развитие технического уровня всех факторов в сумме 625,0 тыс. руб. [32,36].

Структура и функции управления. В основу автоматизированной системы управления положена многофакторная модель (рис.2). Система представляет собой взаимосвязанную пофакторно-производственную структуру управления качеством. Показано, что каждому фактору соответствует определенный уровень дефектности - качества. С помощью модели (20) автоматизированная система целенаправленно управляет сложным объектом сварочных работ, переводя его в область допустимых значений качества (дефектности). Модель "F" устанавливает связь между входом - заданным значением качества $C_{\delta x зад} = \sum (A, \epsilon)_{зад}$ и выходом - выходным значением качества $C_{\delta x вых} = \sum (A, \epsilon)_{вых}$. Сущность F заключается в том, что он описывается алгоритмом, который показывает, как поступать имея информацию по $(C_{\delta x}, P_c, Y_B)$ чтобы $C_{\delta x вых}$ укладывалось в заданный уровень качества.

Разработка I очереди АС "Контроль, учет, анализ и планирование качества сварочных работ" осуществлена на базе основного комплекса ЭВМ ЕС 1022 и ОС ЕС. Программное обеспечение системы осуществлено на языках КОБОЛ, ПЛ/I, АССЕМБЛЕР.

При разработке I очереди АС [1,33...35] главное внимание уделяли созданию автоматизированной базы данных (БД) о состоянии ка-

чества. Структуру базы данных и ее информационные связи строили на основе действующих объектов сварочных работ с учетом: паспортных данных объекта, информации о выполнении работ на объектах, информации о работе каждого сварщика и о дефектности сварных соединений, информации о причинах и виновника брака. Для обеспечения программ пользователей и возможностью доступа к БД создана база нормативно-справочной информации (НСИ). База НСИ представляет собой индексно-последовательный набор данных в состав которого входят классификаторы: операторов ПК, дефектоскопистов, сварщиков-технологов и рабочих исполнителей, конструктивных элементов, диаметров и толщин стенок, способов сварки, БС стыков, видов и способов контроля, дефектов, монтажных организаций, планируемых показателей, рекомендации и др. Введение данных классификаторов дает возможность классифицировать информацию необходимым образом и осуществлять требуемые выборки из БД. База данных и НСИ постоянно обновляются и дополняются с обеспечением достоверности и надежности информации. Актуализация базы решается с помощью "Алгоритма создания и обновления БД на основе массива изменения.

Алгоритм работы прикладных программ АС представляют последовательность операций по выборке необходимой информации из БД, проведение с информацией необходимых манипуляций (сортировка, вычисления, логические операции) и формирование твердых копий выходных документов.

Совершенствование и перспективы развития АС. Для дальнейшего совершенствования I очереди АСУ выполнена разработка II очереди АС. Вторая очередь базируется на использовании мини- и микропроцессорной техники типа персональной профессиональной ППЭВМ ЕС-1840, ЕС-1841, Искра 1032, Роботрон 1910М и др. [27, 32, 33, 35, 36]

ППЭВМ позволяют повышать быстродействие и оперативность системы управления за счет возможности их эксплуатации непосредственно в районах сварочных и контрольных работ и создания механизированных рабочих комплексов дефектоскопистов, операторов и технологов по сварке (АРК-ДОС). Персональная ЭВМ уже непосредственно участвует в управлении качеством, обеспечивая высокую оперативность не только за счет связи с объектами, но выполняет задачу по машинной расшифровке, оценке и выдаче заключений о качестве по рентгено-, гамма- и ультразвукограммам без участия дефектоскописта. Это устраняет субъективизм и повышает достоверность контроля.

Используя персональные ЭВМ и многомерные банки данных с мас-

символ матриц (объект-работа (исполнитель)-качество-время) в ближайшей перспективе возможна разработка имитационной модели по сварочному производству с имитацией типа "что если?". Это позволит практически мгновенно наблюдать последствия изменений и оценивать влияние таких изменений.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основе теории вероятностей, математической статистики и теории статистического регулирования разработаны методология и принципы статистического управления качеством для мелкосерийной и серийной сварочной продукции.

1.1. Создана модель группирования разнохарактерной строительно-монтажной продукции. Разработаны критерии и алгоритм формирования репрезентативной выборки, согласно которым группирование следует осуществлять по элементам производства, а единицей группирования является сварной стык диаметром до 100 мм или участок стыка длиной 300 мм.

1.2. Предложены и обоснованы унифицированные показатели качества, позволяющие объективно оценивать уровень технологического процесса. Установлено, что сварные швы, протяженностью до 300 мм, наиболее оптимально оценивать по числу дефектов шва, протяженностью 500 мм и более - по суммарной длине дефектов, а в интервале от 300 до 500 мм необходимо использовать оба показателя D и ℓ .

2. Разработаны элементы теории комплексного статистического анализа состояния качества и установления уровня дефектности в сварных швах.

2.1. Установлены причинно-следственные связи уровня дефектности в сварочно-монтажных конструкциях, показывающие, что на формирование качества сварных стыков в основном оказывают влияние 5 доминирующих факторов. Влияние каждого из них или их совместное воздействие определяется с вероятностью 0,85 по полученной статистической зависимости.

2.2. С использованием методов проективной геометрии найдено выражение для расчета оптимальных (входных) значений доминирующих факторов и на этой основе получена инженерная формула по определению заданного (оптимального) значения выходного уровня качества в системе. Оптимизация проводится с учетом затрат, взаимосвязанных с определяемыми параметрами.

3. Разработаны и с использованием ЭВМ реализованы модели и

алгоритмы управления качеством сварки в строительном-монтажном производстве, обеспечивающие регулирование процесса производства сварных конструкций на различных стадиях. Оперативность управления качеством сварки на объекте при отлаженном технологическом процессе составляет 2...2,5 часа, для осваиваемого процесса 3,5...5,5 часов.

4. Разработана и внедрена новая организационная структура управления качеством сварки в масштабе треста, объединения, отрасли, основанная на принципах специализации, концентрации и хозяйственной самостоятельности. Это позволило повысить годовую выработку оператора в 3,0-5,0 раз, оперативность контроля в 5...10 раз.

5. Разработана и утверждена в установленном порядке нормативно-техническая документация (ГОСТ, СТП, рекомендации, руководства, инструкции) на контроль и управление качеством сварочных работ.

6. Результаты работы внедрены более чем в 100 организациях Союзного и республиканского подчинения. За счет оперативного регулирования и стабилизации технологических процессов, оптимальных управляющих решений и предупредительных мер, достигается снижение брака в три и более раза. При этом трудозатраты на сварочные работы уменьшаются в 1,5...2,3 раза, а экономия сварочных материалов составляет 15...20 %, металла 3...5 %, энергоресурсов 15-25%.

Общий экономический эффект от внедрения системы методов и средств обеспечения качества только по Белорусской ССР составил порядка 3,8 млн. рублей. Внедрение разработок позволило уже в настоящее время при существующих уровнях технологии практически обеспечивать выполнение требований СНиП по качеству сварки.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Денисов Л.С. Методические рекомендации по контролю и управлению качеством сварочных материалов на стадии "Обращения". - Минск: НИПО "Белстройнаука", 1988. - 51 с.

2. Денисов Л.С. Повышение качества сварки в строительстве. - М.: Строиздат, 1982. - 160 с.

3. Денисов Л.С. Разработка и внедрение эффективных методов повышения качества сварочных работ в строительстве. - Минск: ММСС БССР, 1981. - 30 с.

4. Денисов Л.с. Основные причины брака сварных швов трубо-

роводов при дуговой сварке на объектах Минмонтажспецстрой БССР. - Минск: ММСС БССР, 1977. - 15 с.

5. Денисов Л.С. Методический указания по организации и проведению предупредительного контроля качества сварочно-монтажных работ. - Минск: ММСС БССР, 1976. - 37 с.

6. Денисов Л.С. Гамма-дефектоскопия сварных швов // Промышленность Белоруссии. - 1962. - № 6. - С. 23-26.

7. Денисов Л.С., Козлов В.С. Возможности применения импульсного намагничивания при магнитографическом контроле городских газопроводов // Строительство трубопроводов. - 1964. - № 5. - С. 23-26.

8. Денисов Л.С. Сварка в среде углекислого газа при изготовлении санитарно-технических устройств // Экспресс информация ЦБТИ, ММСС СССР. Сер. УИ. - 1965. - № 2(22). - С. 29-36.

9. Денисов Л.С., Козлов В.С. Магнитографический метод контроля сварных соединений // Сварочное производство. - 1965. - № 7. - С. 16-18.

10. Денисов Л.С. Централизованная система контроля над сварочными и изоляционными работами // Пути повышения качества сварочно-монтажных и изоляционных работ. - Минск, 1969. - С. 34-49.

11. Денисов Л.С. Прогрессивная организация контроля сварочных работ в строительстве // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 1970. - № 12. - С. 19-23.

12. А. . 268388. Магнитный способ контроля сварного шва / Л.С.Денисов (СССР) // БИ. - 1970. - № 36.

13. О надежности методов УЗД и просвечивания при контроле качества стыковых соединений А.К.Гурвич, В.Г.Грушев, Л.И.Смирнова, Л.С.Денисов // Тез.докладов сесс.союзного совещания. - Минск: ММСС БССР, 1971. - С. 36-38.

14. Денисов Л.С. Статистический анализ дефектности дуговой и газовой сварки монтажных трубопроводов по результатам неразрушающего контроля // Механизация и автоматизация сварочного производства. - Могилев: ММИ, 1972. - С. 101-103.

15. Денисов Л.С. Исследование формирования дефектности при монтажной сварке технологических трубопроводов // Неразрушающие методы и средства контроля и их применение в промышленности: Материалы первой Белорусской научно-техн. конф. - Минск: Наука и техника, 1973. - С. 346-353.

16. Денисов Л.С., Маслов Б.Г. Применение предупредительного контроля качества сварочных работ в монтажных условиях // Комплексная дефектоскопия сварных и паяных соединений. - М.: МДНТП им.Ф.Э.Дзержинского, 1975. - С.86-92.

17. Денисов Л.С., Волченко В.Н. Предупредительный контроль качества сварочных работ // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 1975. - № 11. - С.14-14.

18. Денисов Л.С. Инструкция по организации и проведению управления качеством сварочных работ//Сб.инструктивных указаний по производству ответственных сварочных работ на объектах Минмонтажспецстроя БССР. - Минск, 1978. - С.262-292.

19. Денисов Л.С. Применение статистических методов контроля при монтажной дефектоскопии // Новые физические методы и средства контроля промышленных изделий: Тез.докл. Второй Белорусской научно-техн.конф. - Минск: АН БССР, 1978. - С.237-241.

20. Волченко В.Н., Денисов Л.С. Применение системы статистического управления качеством соединений при сварке в монтажных условиях // Сварочное производство. - 1979. - № 5. - С.33-36.

21. Денисов Л.С. Статистические методы контроля и управления качеством сварочных работ // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 1981. - № 1. - С.20-21.

22. Денисов Л.С., Горлач В.Г. Резервы производительности труда и качества сварочных работ // Монтажные и специальные строительные работы. Сер. IX. - 1982. - № 1. - С.11-13.

23. Денисов Л.С. Создание отраслевой комплексной системы управления качеством сварки. Опыт эксплуатации и проблемы // Опыт и пути решения проблемы комплексного управления качеством сварки. - Тез.докл.всесоюзного совещания. - Краснодар, 1982. - С.14-16.

24. Денисов Л.С. Система и методы обеспечения качества сварных соединений с использованием неразрушающего контроля // Повышение надежности и долговечности деталей машин, механизмов и сварных конструкций. - Тез.докл.республ.конф. - Могилев, 1982. - С.94-95.

25. Денисов Л.С. Система и методы повышения качества сварочных работ с использованием НК // Пути снижения материалоемкости и трудоемкости сварочных работ в строительстве. - М.: Стройиздат, 1983. - С.80-81.

26. Денисов Л.С. Достижение и проблемы в практике управления качеством сварочных работ // Контроль и управление качеством сварки. Сб. научных трудов. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1984. - С. 12-26.

27. Денисов Л.С. Опыт применения неразрушающего контроля при управлении качеством сварки // Сб. Современные физические методы неразрушающего контроля. - М.: МДНТП им.Ф.Э.Дзержинского, 1984. - С.138-142.

28. Денисов Л.С., Киселев Г.В. Управление качеством сварочных работ в строительстве. - РД 36. БССР 52-86.

29. Денисов Л.С., Баранчик Н.И. Инструкция о порядке приемки по качеству, транспортированию, хранению и использованию сварочных материалов. - Минск: ММСС БССР, 1986. - 20 с.

30. Денисов Л.С. Качество сварки и его стоимость // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 1987. - № II. - С.21-23.

31. Денисов Л.С., Баранчик Н.И., Братенников Г.Н. Технологическая инструкция по сварке трубопроводов водоснабжения и канализации из полиэтилена. - Минск: ММСС БССР, 1987. - 20 с.

32. Денисов Л.С. Проблемы контроля и управления качеством в сварочном производстве и повышение их эффективности на основе автоматизации // Опыт и пути дальнейшего развития комплексного управления качеством в сварочном производстве. - Донецк: ИЭП АН УССР, 1988. - С.15-34.

33. Денисов Л.С., Бокий А.С., Татаринов Г.Е. О системе контроля и управления качеством сварки // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 1988. - № 2. - С.24-27.

34. Троицкий В.И., Денисов Л.С., Рожков В.Н. Входной контроль качества сварочных электродов. Общие положения / Первая ред. Р.Д. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1989. - 13 с.

35. Денисов Л.С. Отраслевая система управления качеством продукции сварочного производства. Методические основы // Рекомендации по управлению качеством продукции сварочного производства. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1989. ЧП-С.10-43.

36. Денисов Л.С. Рекомендации по обеспечению качества сварочных работ в строительстве. - Минск: НПО "Белстрой-наука", 1990. - 55 с.

