

УДК 621.791

**СИСТЕМА И МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО
НОРМАТИВНОГО КАЧЕСТВА СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ
ПРОЦЕССОВ И СОЕДИНЕНИЙ**

Л. С. ДЕНИСОВ

ОО «Белорусское инженерное общество»
Минск, Беларусь

UDC 621.791

**SYSTEM AND MECHANISMS FOR ENSURING THE REQUIRED
REGULATORY QUALITY OF ASSEMBLY AND WELDING PROCESSES
AND JOINTS**

L. S. DENISOV

Аннотация. Предложена система управляющего контроля технологических процессов и сварных соединений, позволяющая обеспечивать требуемое качество согласно нормативным требованиям.

Ключевые слова: контроль, дефекты, анализ дефектности, уровень качества, факторы качества, базовые совокупности стыков (БСС).

Abstract. A system of control monitoring of technological processes and welded joints is proposed, which allows to ensure the required quality according to regulatory requirements.

Keywords: control, defects, defect analysis, quality level, quality factors, basic sets of joints (BSJ).

*«... Качество вряд ли имеет
достижимые пределы, тогда
как количество природных
богатств и производственных
ресурсов, несомненно, ограничено...»*

Сегодня и в обозримом будущем сварка остается основным и незаменимым методом соединения материалов во всем мире.

В острой рыночной конкуренции выдвигается один главный приоритет – качество изделий и сооружений, обеспечивающее лучший уровень жизни человека (комфорт, удобство и безопасность).

На промышленных предприятиях, заводах, стройках, в процессе реконструкции выполняют десятки и сотни миллионов сварных соединений. Это обстоятельство требует постоянного внимания к качеству сварочных работ и сварных соединений, однозначно влияющих на надежность конструкции, изделий и сооружений в процессе эксплуатации.

В настоящее время разработана Научно-производственной секцией «Сварка и родственные технологии» Концепция обеспечения качества

сварочных работ включает пять-семь значимых доминирующих производственных и технологических факторов, участвующих в формировании соединений и требуемого качества, а также, что весьма важно, в совершенствовании сварочного производства. К этим факторам относятся:

- квалификация и мотивация исполнителей;
- наличие и состояние нормативной базы, ее исполнение;
- сварочные и свариваемые материалы, сварные конструкции и изделия;
- сварочное оборудование и техоснастка;
- подготовка и сборка под сварку;
- способы сварки, алгоритмы процессов сварки и регламенты;
- послесварочные операции.

Указанными факторами на объектах сварочных работ генерируется до 70 %...90 % всей дефектности, и поэтому основное и первоочередное внимание производств должно быть сосредоточено на проблемных факторах. *Это, по сути, и есть сегодня первоочередная задача восстановления, развития и совершенствования сварочного производства на каждом предприятии, заводе, стройке, сварочной и ремонтной базе, фирме.*

Очень важно и срочно необходимо решение задач по главным первоочередным доминирующим факторам сварочного производства. В том числе:

- повышение профессионального мастерства рабочих и специалистов (ИТР);
- установление эффективной структуры способов сварки – переход от ручной к механизированным и автоматизированным;
- применение эффективного сварочного оборудования и оснастки;
- использование качественных сварочных материалов;
- снижение металлоемкости сварочных конструкций и массы наплавленного металла;
- применение актуализированной и прогрессивной нормативной базы;
- применение обязательных правил подготовки к производству сварочных работ;
- обеспечение мер требуемого уровня качества сварных конструкций и дефектности соединений;
- планирование качества сварных соединений в промышленности и строительстве на 2020 г. и 2025 г.;
- внедрение новой высокоэффективной и низкочатратной системы Управляющего контроля процессов и качества соединений, рассмотренного далее.

Трудности управления качеством определяются сложностью объекта сварочных работ. Это, в первую очередь, отсутствие математического описания объекта, стохастичность поведения процессов на объектах, определенное несоответствие – «нетерпимость» к управлению объектом (можно сказать, несоответствие цели управления с целью объекта), нестандартность объекта (дрейф его параметров и характеристик во времени), невозпроизводимость экспериментов и др.

Для установления исходного уровня качества по всем доминирующим факторам (в данном случае принято пять факторов) разработаны параметрические и многофакторные модели формирования качества.

Математическая модель можно записать в следующем виде:

$$\Sigma(D'L')_{\text{ВЫХ}} = F[\Sigma(DL)_{\text{ВХ}}, P_C, Y_B],$$

где $\Sigma(DL)_{\text{ВХ}}$ – планируемое качество процесса X; P_C – систематически случайные помехи; Y_B – регулируемое или управляемое воздействие; $\Sigma(D'L')_{\text{ВЫХ}}$ – получаемое выходное качество.

*«...Чтобы создать в себе знание,
следует проникнуться к вещи
и постигнуть ее закон...»
Чжу Си «Великое учение»*

Впервые теория статистического управляющего контроля сварных соединений начала разрабатываться в МВТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва) проф. В. Н. Волченко с участием канд. техн. наук, ныне академика РАН, проф. Н. П. Алешина, канд. техн. наук, доц. Б. Г. Маслова. В дальнейшем развитие теории и практики управляющего контроля применительно к производственным условиям сварочных работ выполнялось в Минском институте «Сварка и защитные покрытия» д-ром техн. наук, проф. Л. С. Денисовым, д-ром техн. наук, проф. В. П. Куликовым, канд. техн. наук, доц. П. В. Занковцом. Научно-производственная секция «Сварка и родственные технологии» Белорусского инженерного общества (далее – «Секция сварки») с начала создания института проводит систематические исследования по обеспечению качества сварочных работ и сварных соединений на строительных объектах в промышленности, энергетике, нефтехимии и др.

Секцией «Сварка» разработана четырехуровневая функциональная система управления качеством сварочных работ для целой отрасли, отдельного объекта, машины и т. д. (рис. 1).

Установлены и изучены условия и факторы, воздействующие на процессы сварки при формировании сварных соединений и их качества.

Установлена *абсолютная необходимость* внедрения статистических методов в системе Управляющего контроля качества как для отдельных способов сварки, так и всего комплекса процедур, от подготовки до сдачи продукции.

В настоящее время разработаны «Методические руководства по управлению качеством сварочных работ»; механизмы регулирования первого уровня системы, механизмы управления второго, третьего и четвертого уровней; алгоритмы проведения комплексного анализа производства, регулирования и корректировки процессов сварки.

На фоне формирования качества сварных соединений показана возможность контролировать уровень качества и при условии изменений объекта и доминирующих факторов. Впервые проведены исследования и обширные

анализы доминирующих факторов сварочного производства (факторы качества); установлены действия доминирующих факторов на сварочных объектах на период конца XX и начала XXI ст., разработаны модели управления и механизмы управляющего качества (табл. 1).



Рис. 1. Четырехуровневая система управления качеством сварочных работ

Табл. 1. Доминирующие факторы качества

Доминирующий фактор качества	Степень влияния фактора		Требование
	Высокая степень влияния	Значимость	
Квалификация и мотивация исполнителей	+++++	+++++	Высокие знания, умение и практика
Наличие прогрессивной нормативной базы (НБ)	+++	+++	Знание и реализация на практике НБ
Свариваемые и сварочные материалы	++	++	Знание свариваемости материалов
Сварочное оборудование и тех. оснастка	++	++	Знание и умение работать на современном оборудовании
Подготовка и сборка под сварку	+++++	+++++	Обеспечение точности и качества сборки
Процессы сварки и регламенты	+++++	+++++	Отработка и точность исполнения режимов
Послесварочные операции и контроль	+++	+++	Достоверность контроля и анализа качества, установление причин брака
<i>Примечание</i> – Следует учитывать и другие возможно появляющиеся факторы			

Рассмотрим Управляющий контроль процессов сварки и сварных соединений на первом уровне.

Управляющий контроль на первом уровне. Первый уровень Управляющего контроля является базовым для всей четырехуровневой системы. Чтобы определить состояние качества выполняемых технологических операций, процессы должны исследоваться по законам статистической механики. Необходимо их достоверно контролировать, анализировать и при отклонениях от стандартных (расчетных) уровней выполнять подналадку, т. е. осуществлять регулирование.

При Управляющем контроле регулирование каждой операции производится по цепочке «Дефект – Причина – Фактор» (Д – П – Ф). В ходе исполнения операции или после ее окончания профессиональный оператор, исследуя этот процесс по обратной связи, указывает исполнителю, где нарушен технологический ход сварки и как исправить нарушения.

Для этого, используя также и историю качества, выполняют расчеты границ регулирования, разрабатывают методики и процедуры статистического регулирования (рис. 2).

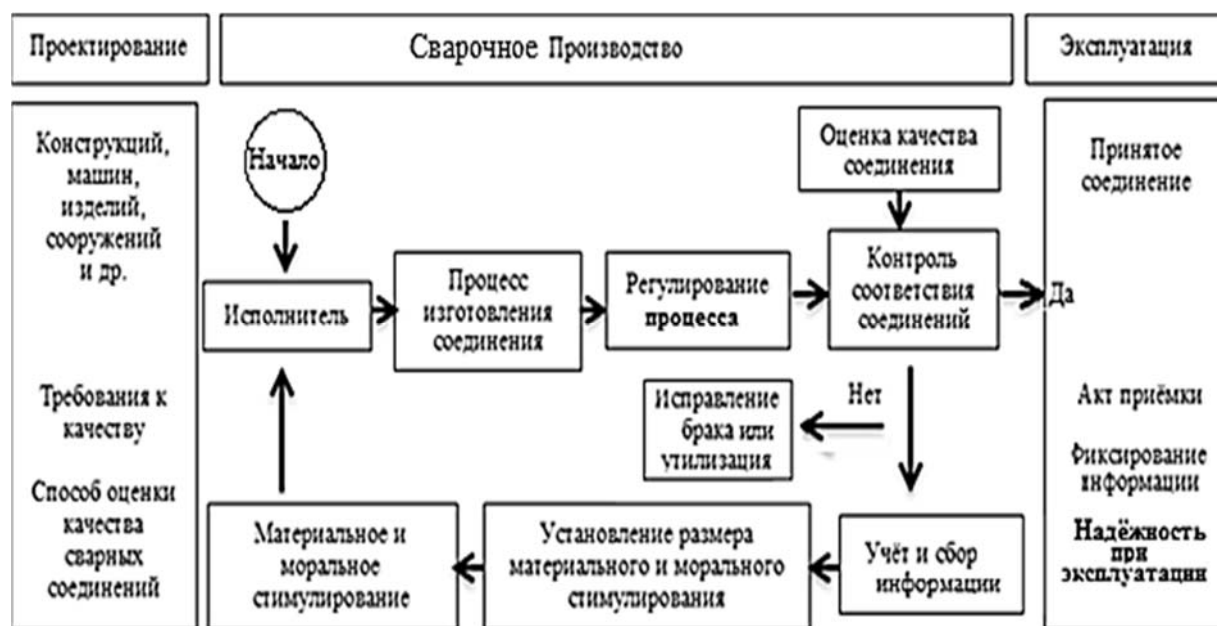


Рис. 2. Механизм Управляющего контроля качеством процессов и сварных соединений на первом уровне (объекта сварочных работ)

Основой Управляющего контроля на первом уровне служат предупредительные статистические карты контроля, в которых границы регулирования выражены через показатели качества Д и L, а причины брака определяются по факторам качества – через структуру дефектности и их количество (или протяженность). Такие карты составляют ежегодно на основе накопленной информации. Границы регулирования (доверительные интервалы), так же как и показатели качества, должны утверждаться на текущий год техническим отделом вышестоящей организации. Регулирование осуществляется подготовленными квалифицированными операторами лаборатории совместно с

технологами по сварке на основании текущих значений D или L , которые определяют выборочным неразрушающим контролем стыков базовой совокупности или иными методами контроля.

Рассмотрим краткий алгоритм действий профессионального оператора на объекте сварочных работ при Управляющем контроле (первый уровень четырехуровневой системы).

1. Внешний контроль: осмотр и измерение сварных соединений. По окончании контроля составляют акт по качеству внешнего контроля сварного шва.

2. Проведение радиографического или ультразвукового контроля сварных соединений (или других методов контроля). Делают заключение о качестве СвС.

3. При контроле устанавливают значение параметров (D или L) и наносят его на контрольную карту. Если параметр находится в пределах границ регулирования, очередная выборка берется в зависимости от объемов и ответственности сварочных работ на объекте. Обычно шаг выборки контроля на объектах во времени составляет одну-две выборки из общего количества сваренных стыков у каждого сварщика за неделю.

При больших объемах сварочных работ и высокой ответственности изделия, сооружения шаг выборки может быть сокращен вплоть до одной-трех выборок за смену. В случае наличия разлаженности сварочного процесса принимаются меры по его стабилизации. Для налаживания стабильности процесса в течение смены берется не менее трех выборок: начало работ, середина и в конце смены.

4. При разлаженности процесса, т. е. при выходе значений показателя за верхнюю (ВГР) или предупредительную (ПГР) границу контрольной карты, проводят повторную выборку из той же совокупности стыков. Определяют значение параметра D (или L). При подтверждении неудовлетворительного результата расщепляют параметр на типы дефектов: П – поры, Ш – шлаковые включения, Н – непровары и т. д. Устанавливают структурную формулу дефектности по данным выборочного контроля.

5. Определяют причины брака при разлаженности процесса. Для этого структурную формулу текущей выборки сравнивают со структурной формулой статистической дефектности доминирующих причин за прошедший год. Путем сравнения структур и на основании действующих в период контроля факторов устанавливают достоверные причины брака, возникающие в данное время на данном объекте. О действующих причинах информируют непосредственных исполнителей и руководителей цеха завода и монтажного объекта.

6. Совместно с организацией, выполняющей сварочные работы (начальник участка, ответственный за сварочные работы, главный сварщик), анализируют и принимают меры по устранению причин дефектности и брака.

Результаты эффективности действия установленных мер по устранению причин определяют по данным параметров D (или L) внеочередных выборок, взятых после корректирующего воздействия действующих причин.

7. При регулировании технологических процессов особое значение имеет оперативность действия обратных связей. Как показала практика, максимальный эффект получают, если регулирование вводят в начале сварочных работ на объекте, а в дальнейшем – по установленной периодичности взятия выборок. Необходимо,

чтобы все процедуры по времени поступления корректировочных воздействий укладывались в одну-две рабочие смены.

Примечание – При стабильном процессе (параметр в пределах границ регулирования) время от контроля выборки до передачи информации исполнителю должно составлять не более 2 ч. В случае разлаженного процесса – 3...3,5 ч (рис. 3).

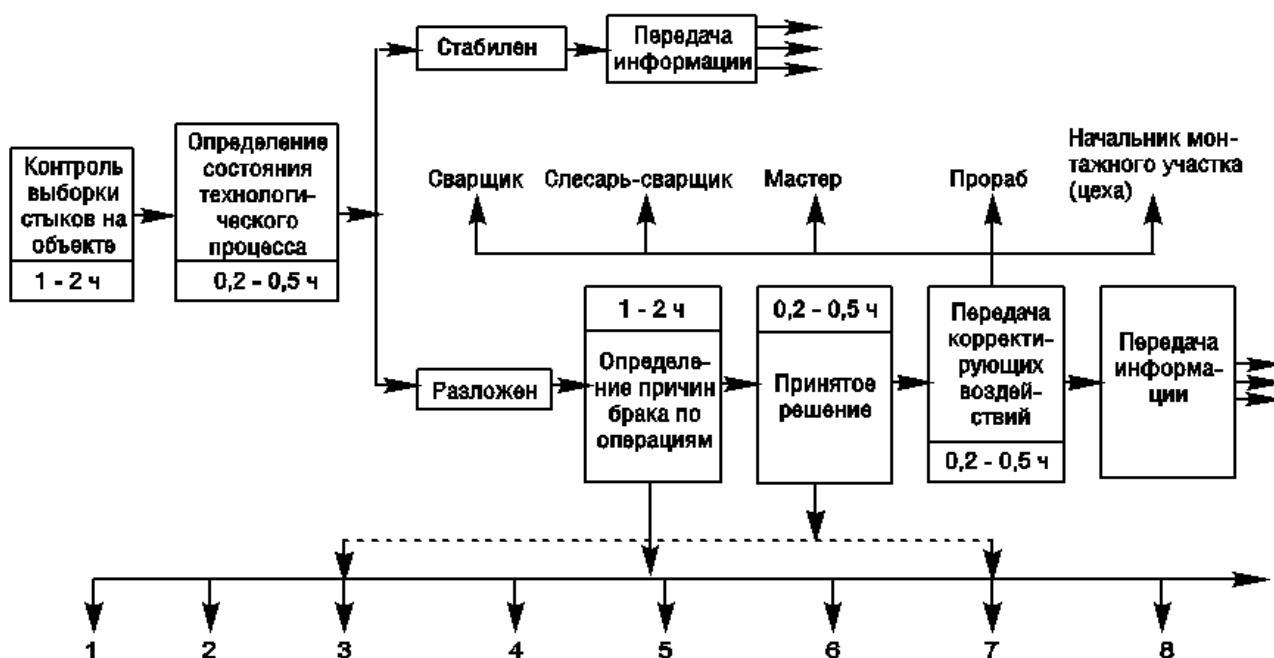


Рис. 3. Процедуры статистического регулирования на объекте сварки: 1 – подготовка; 2 – сборка; 3 – сварка; 4 – контроль; 5 – качество материалов, складирование; 6 – прокатка, наличие пеналов для хранения электродов у сварщика на объекте; 7 – состояние оборудования, приспособлений, инструмента; 8 – условия работ, защита от атмосферных помех; 9 – наличие технической документации и действующих удостоверений у исполнителей и др.

8. При выполнении Управляющего контроля каждый оператор должен знать:

- когда, при каких значениях D или L технологический процесс считается налаженным, а когда наступает разладка;
- каков период отбора выборок, т. е. время между очередными выборками контролируемых соединений;
- способ отбора соединений в выборку;
- объем выборки.

9. Меры, принимаемые при сигнале контрольной карты о разладке процесса или предупреждающем сигнале, отмечаются в протоколе или отчетах.

Пример выполнения статистического Управляющего контроля.

Исходные данные: сварочные работы ведет передвижная механизированная колонна монтажного треста. Объект – лакокрасочный завод (ЛКЗ). Стыки трубопровода диаметром $57...108 \cdot 4$ мм. На этом объекте требуется провести Управляющий контроль качества процессов сварки и соединений.

История качества. Историей качества зарегистрирован наибольший уровень брака по доле забракованных стыков – $B = 18,7\%$. По контролируемой базовой совокупности стыков Р.1 уровень брака B за этот же период составил $13,7\%$ по сравнению с прошлым годом.

Вводные данные. Управляющий контроль качества технологических процессов и соединений на данном объекте проводим по показателю дефектности D_0 с использованием рассчитанной по истории качества предупредительной контрольной карты. Значения $D_0 = 1,5$; ПГР = 1,6; ВГР = 1,75 (рис. 5). В дальнейшем все процедуры регулирования проводятся по этой карте. При анализе дефектности, допускаемой сварщиками при сварке, установлены доминирующие причины дефектности, характерные для этой организации: низкая квалификация сварщиков, нарушение технологии сварки, неудовлетворительные условия сварки, низкое качество электродов и сборки под сварку.

Установленная структурная формула дефектности.

Квалификация	→	$Kв = П(1,3) + Ш(0,8) + ПШБВ(0,5) + Н(0,5) + Пд(0,1)$.
Технология	→	$Тн = П(1,4) + Ш(1,1) + ПШБВ(0,3) + Пд(0,1)$.
Электроды	→	$Эл = П(1,8) + Ш(0,6) + ПШБВ(0,4)$.
Подготовка, сборка	→	$Пс = П(0,6) + Ш(0,4) + Н(1,3) + См(0,2)$.
Условия	→	$Ус = П(1,0) + Ш(0,7) + Н(0,5)$.

На рис. 4 и 5 показаны время разладки процесса сварки, величина дефектов и причины.

Дата	D_0	П	Ш	ПШБВ	Н	См	Пд	Причины
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	4,2	1,4	0,9	0,4	0,2	—	0,2	Квалификация
4	3,9	1,1	0,8	0,3	0,4	—	0,1	Технология
6	2,7	0,5	0,4	0,1	0,5	0,1	—	Подготовка, сборка
7	1,6	0,5	0,3	—	0,1	0,1	0,1	
9–16	Процесс стабилизирован							

Рис. 4. Установление причин брака по выявленной дефектности (Р.1)

Первая, а затем и вторая выборки показали значения D_0 выше ВГР (см. рис. 5). Сварочный процесс оказался разлаженным: $D_0 = 4,2$; $D_6 = 3,1$. Определение структурной формулы дефектности по первым двум выборкам указывало на причину – низкая квалификация сварщика. Проверка этой причины подтвердилась. Сварщики вплоть до начала работ на объекте ЛКЗ не были заняты на сварке ответственных конструкций, а выполняли различные вспомогательные работы. Это привело к потере ими навыков, растренировке, различным нарушениям технологии сварки. После установления причины брака со сварщиками проведена приобъектная тренировка с показом и разъяснением ошибок. По внеочередным контрольным выборкам выявлено некоторое

улучшение качества. Однако процесс оставался разлаженным, т. к. значения \bar{D}_o двух выборок лежали выше ВГР и ПГР, поэтому 4, 6, 7 февраля (см. рис. 4 и 5) продолжалась наладка сборочно-сварочных процессов: приобъектная тренировка, обучение сварщиков и слесарей-сборщиков, оснащение объекта шлифовальными машинками и другими инструментами для качественной подготовки и сборки под сварку, жесткий контроль за качеством материалов.

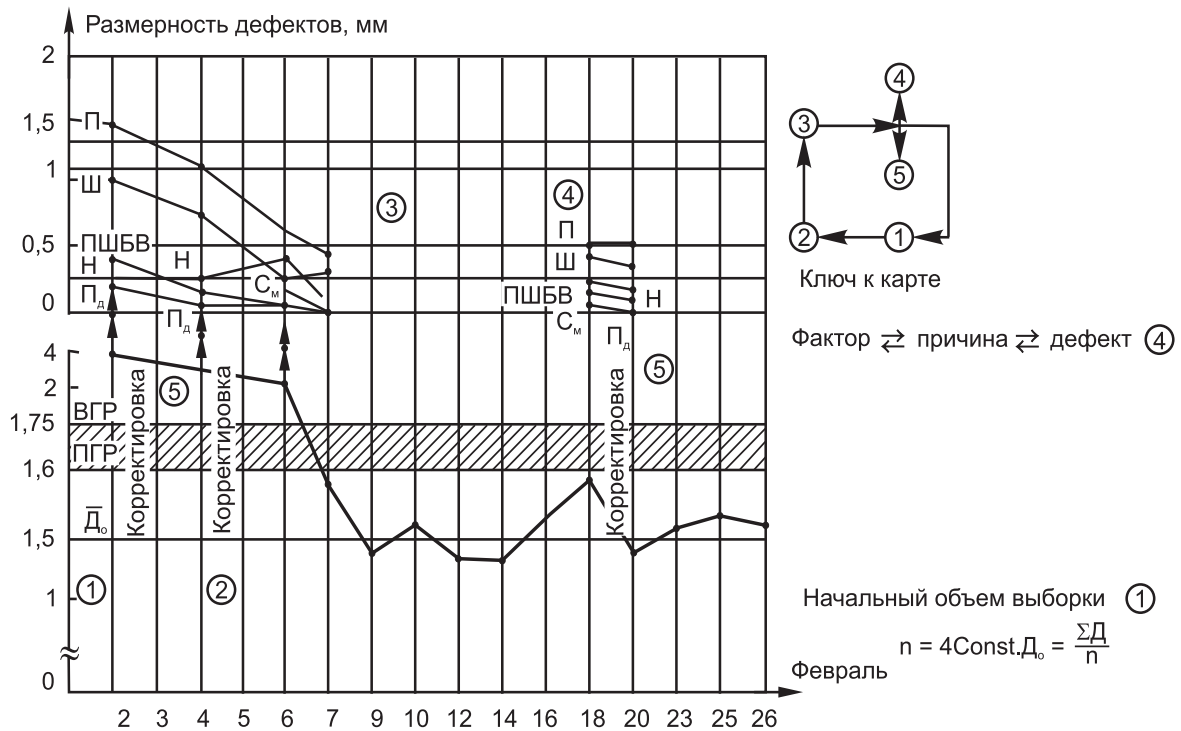


Рис. 5. Карта статистического регулирования процессов сварочных работ на объекте по показателю \bar{D} , БПС-Р.1

Контрольные выборки, взятые после проведения, обучения и наладочных работ (см. рис. 4), показали снижение дефектов – пор, шлаковых включений и скоплений при незначительном росте числа непроваров и смещения. Анализ внешнего осмотра и рентгенограмм подтвердил натренированность сварщиков, освоение ими технологических режимов, а также указывал на необходимость дальнейшего улучшения качества сборки. Принятые меры – разъяснение ошибок при подготовке кромок стыков и сборке под сварку – позволили уменьшить действия этой причины.

В дальнейшем качество сварки на данном объекте оставалось стабильным, и поэтому оператор сократил частоту выборок в два раза. Если значения \bar{D}_o близкие к ПГР, фиксируются два раза и более, проводится анализ структурной формулы дефектности очередной выборки для определения систематических причин и принятия мер по их устранению.

Далее Управляющий контроль начинают с контроля выборки стыков сварщика на объекте объемом два участка длиной 300 мм. Для этого могут быть пригодны результаты действующих объемов контроля и т. д.

Рассмотрим основное Управляющее ядро контроля [2].

На всех объектах управление осуществляют по цепочке статистической зависимости, описывающей количественную связь.

Фактор \Leftrightarrow Причина \Leftrightarrow Дефект.

Установлена управляющая количественная связь между фактором, причиной и дефектностью.

Выполнение Управляющего контроля качества на объектах сварочных работ проводится по нижним стрелкам связей ($\Phi \leftarrow \Pi \leftarrow \Delta$).

При проектировании технологических процессов или при совершенствовании условий сварки и действующих факторов Управляющий контроль проводится по верхним связям стрелок ($\Phi \rightarrow \Pi \rightarrow \Delta$).

Конечным итогом управления являются количественные результаты причинно-следственных связей факторов, причин и дефектности (рис. 6).

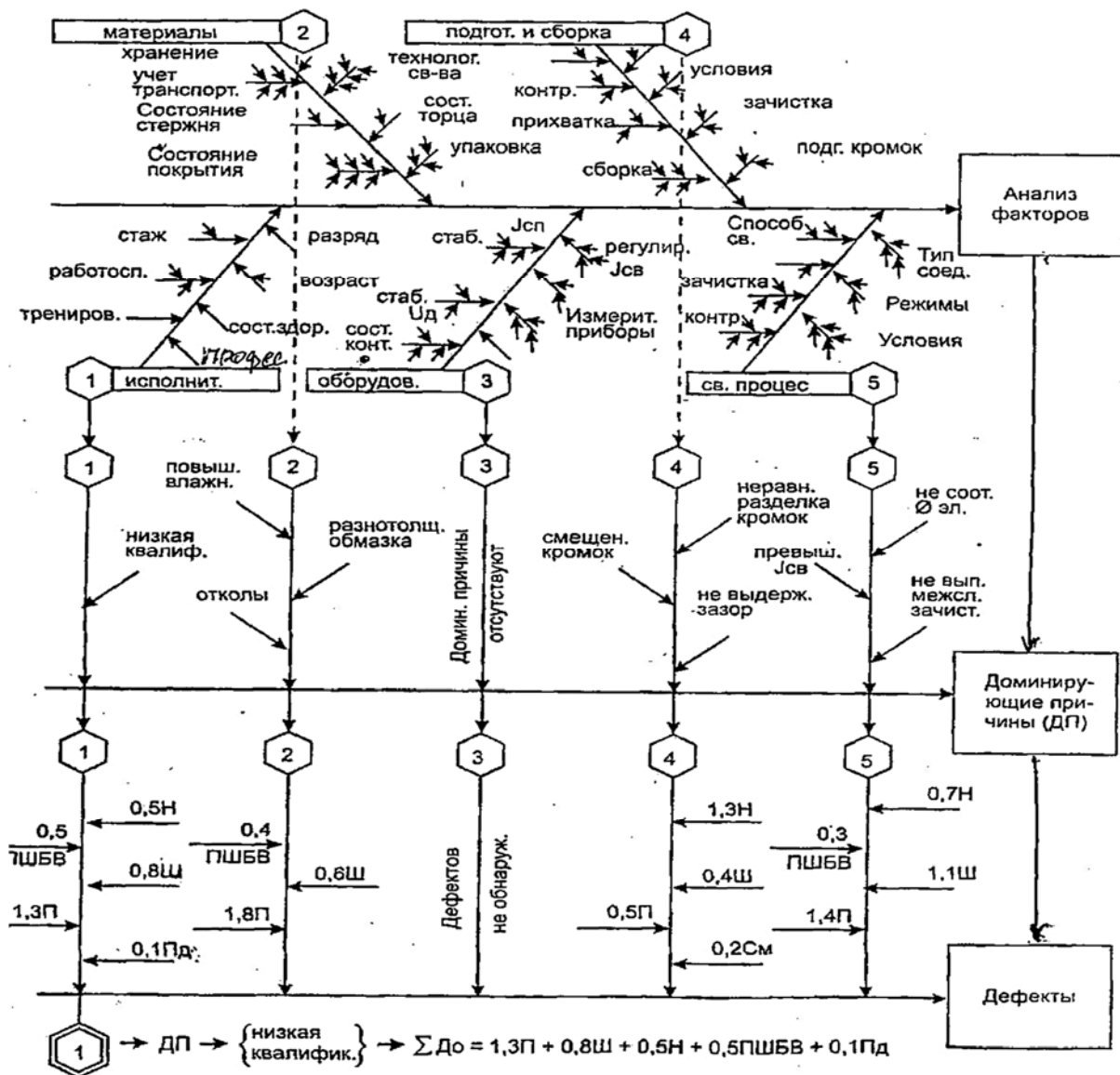


Рис. 6. Причинно-следственные связи факторов с дефектностью

Важным процессом Управляющего контроля является анализ факторов производства по всем присущим ему особенностям и определение причин брака. Для достоверного анализа действующих факторов необходимо проводить их учет и анализ влияния на качество [1]. Эту работу должен выполнять квалифицированный оператор не ниже третьего уровня квалификации.

Для анализа действующих факторов производства и установления отрицательных факторов параметров (ОФП) оператор должен знать регламент технологических процессов, профессионализм исполнителей сварочных работ и особенности работы для контроля и состояния каждого фактора, например: прокалка электродов, контроль качества сварочной проволоки и т. д. Как показывает практика, факторы качества действуют на процессы сварки в разное время по-разному – например, для текущего времени, период 2020–2022 гг., действуют доминирующие факторы сварочного производства.

Состояние производственных факторов должно непрерывно проследиваться и анализироваться с определением степени их воздействия на качество соединений и производительность с последующей разработкой мероприятий по их совершенствованию.

Приведенный кратко алгоритм Управляющего контроля по показателям Д, L свидетельствует о возможности стабилизации процессов на объекте сварки и обеспечения требуемого уровня качества сварных соединений на заводах и объектах сварочных работ.

Заключение. Механизмы Управляющего контроля – регулирования технологических процессов сварки непосредственно на объектах и в цехах заводов позволяют резко сокращать в три и более раза дефектность и брак сварных соединений. Особенно эффект повышения качества проявляется на объектах с небольшими объемами сварки, при выполнении разовых заказов на заводах, объектах и ремонтных работ, при частых отрывах сварщиков на работы, не связанные со сваркой.

Если сборочно-сварочные процессы не поддаются стабилизации или какие-то причины разладки не поддаются корректировке, *то решение задачи следует искать в комплексе мер, затрагивающих уже верхние производственные уровни иерархии: цех, монтажное управление, завод – трест – министерство.*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Денисов, Л. С.** Основы обеспечения бездефектной сварки, система статистического регулирования и управления качеством сварочных работ / Л. С. Денисов. – Минск: Право и экономика, 2020. – 228 с.: ил.
2. **Денисов, Л. С.** Основы концепции развития сварочного производства Республики Беларусь до 2025 г. / Л. С. Денисов. – Минск : Право и экономика, 2016. – 64 с.