М 334976

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ЛУПАЧЕВ Вячеслав Григорьевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТИВНОСТИ И СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО И РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СТЫКОВЫХ ШВОВ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1978

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ЛУПАЧЕВ Вячеслав Григорьевич

М334976ф

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТИВНОСТИ И СРАВНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО И РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СТЫКОВЫХ ШВОВ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1334976
Лупачев В.Г. Разработка ме

Москва 1978

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - д.т.н., профессор ВОЛЧЕНКО В.Н.

Научный консультант - к.т.н.,ст.научн.сотр.АЛЕШИН Н.П.

Официальные оппоненты: д.т.н.,профессор РУМЯНЦЕВ С.В.

к.т.н.,ст.научн.сотр. ЩЕРБИНСКИЙ В.Г.

Ведущее предприятие указано в решении Совета.

Защита диссертации состоится "___"_____1978 г. на заседании специализированного Совета К053.15.03 по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу:

107005, Москва, Б-5, 2-ая Бауманская ул., д. 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "___"_____ 1978 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
д.т.н., доцент ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

А72248. Подп. к печ. 18. X.78. Объем 1 п.л. Тир. 100.
Зак.1221 Тип МВТУ

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В связи с большими масштабами производства сварных конструкций обеспечение их высокого качества – одна из важнейших задач промышленности.

В настоящее время при контроле качества сварных швов судокорпусных конструкций ответственного назначения применяют, главным образом, радиографический контроль и в редких случаях – ультразвуковую дефектоскопию.

Известны определенные преимущества ультразвукового контроля перед радиографическим: лучшая выявляемость дефектов плоской формы, безопасность, оперативность, низкая стоимость и др. Однако его более широкое внедрение сдерживается в основном тем, что при оценке качества сварных швов результаты УЗ-контроля значительно отличаются от данных радиографии, а достоверность этих результатов или их объективность по сравнению с реальной дефектностью, как правило, неизвестна. Поэтому необходимо обосновать единый для обоих методов оценочный параметр дефектности, а также разработать систему показателей и методику расчета объективности результатов неразрушающих методов контроля.

Целью работы является создание методики сравнения результатов радиографического и ультразвукового контроля сварных стыковых швов для более широкого внедрения ультразвукового контроля в практику там, где этот метод может частично или полностью заменить традиционное радиографирование. Достижение указанной цели будет способствовать повышению качества и снижению себестоимости сварных конструкций.

Методы исследования. Задачи, связанные с анализом качества сварных швов, с разработкой показателей объективности методов неразрушающего контроля решались с применением методов теории вероятностей, математической статистики и методов корреляционного анализа. При выборе и обосновании единого оценочного параметра размеров дефектов использовались законы прохождения радиационного излучения через вещество и теория акустического тракта ультразвукового дефектоскопа. При определении количественных значений показателей объективности неразрушающего контроля использовался метод сравнения экспериментальных данных

радиографического и ультразвукового контроля с результатами вскрытия испытательных образцов и сварных стыковых соединений судокорпусных конструкций.

Научная новизна заключается в разработке математической модели оценки объективности методов неразрушающего контроля, в которой объективность рассмотрена в системе абсолютных и относительных показателей. Абсолютные показатели отражают возможности метода контроля по выявлению и количественной оценке внутренних дефектов. Относительные показатели характеризуют метод контроля по способности классифицировать обнаруженные дефекты на допустимые и недопустимые относительно их нормативного размера. При этом учитывается статистическое распределение дефектов в сварных швах.

Практическая ценность работы. Разработанная математическая модель оценки объективности неразрушающего контроля дает возможность сравнивать результаты разных физических методов контроля, что позволяет установить области и объемы целесообразного применения радиографического и ультразвукового контроля.

Результаты работы использованы при обосновании рекомендаций по расширенному внедрению ультразвукового контроля на предприятиях судостроительной промышленности. Применение ультразвукового контроля способствует обеспечению требуемого качества сварных швов и снижению себестоимости судокорпусных конструкций.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на УШ Всесоюзной научно-технической конференции по неразрушающим физическим методам и средствам контроля (г. Кишинев, 1977 г.), на конференции "Комплексная дефектоскопия сварных и паяных соединений" (г. Москва, 1975 г.), на республиканской конференции "Механизация и автоматизация сварного производства" (г. Могилев 1975 г.), на республиканской конференции "Пути повышения эффективности сварочного производства и улучшения качества сварных конструкций" (г. Могилев, 1978 г.).

Основные положения работы доложены на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ имени Н.Э. Баумана.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и общих выводов по работе. Выполнена на 139 машино-

писных страницах, содержит 48 рисунков, 23 таблицы и 97 наименований литературных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлена характеристика объекта исследования. Дан статистический анализ дефектности сварных швов, выбор и обоснование единого оценочного параметра дефектов для сравнения результатов радиографического (РГ) и ультразвукового (УЗ) контроля.

Исследуемым объектом являются сварные стыковые швы судокорпусных конструкций из низколегированных сталей толщиной 17 + 40 мм, выполненные ручной дуговой (РД) и автоматической сваркой под флюсом (АД) в х-образную разделку.

Был собран и обработан большой объем статистических данных о дефектности швов (38237 участков длиной по 300 мм) толщиной 17, 22, 30, 35 и 40 мм, выполненных в условиях различных предприятий судостроительной промышленности.

Установлено, что качество швов, выполненных АД-сваркой выше (уровень дефектности q =3,6-3,4 %, уровень брака Б=2,5-3,7 %), чем качество швов, выполненных РД-сваркой (q =5,1-9,7 %, Б= =4,0-7,0 %). Для обоих методов сварки основной процент брака (свыше 70 %) приходится на швы со шлаковыми включениями удлиненной формы. На соединения с непроварами приходится около 20% брака, на соединения с порами - 10 %, с трещинами - менее 1 %. С увеличением толщины швов увеличивается количество одиночных шлаковых включений на единицу длины шва. Так, при РД-сварке доля одиночных дефектов-включений изменяется с 82,2 % для сварных швов толщиной 17 мм до 98,2 % для швов толщиной 40 мм, при АД-сварке с 83,3 до 95,3 % соответственно. Шлаковые включения имеют в основном протяженность 4-8 мм при АД-сварке и 7-14 мм при РД-сварке. Вскрытие швов показало, что как при ручной, так и автоматической сварке дефекты образуются, как правило, в центральной части швов (до 96 %).

Исходя из проведенного анализа дальнейшие исследования по сравнению результатов УЗ- и РГ-контроля выполнены применительно к выявлению включений как наиболее часто встречающемуся типу дефектов.

Для сравнения разных физических методов НК между собой обоснован единый оценочный параметр размера дефекта - площадь де-

фекта в расчетном сечении шва. Доказательство правомочности принятого оценочного параметра проведено на основе экспериментальных исследований. Использовались дефектоскопы типа УДМ-1М с аттенюатором и *USIP-10W*.

В иммерсионном варианте получена зависимость амплитуды эхо-сигнала от плоских отражателей одинаковой площади, но разной формы (диск, треугольник, квадрат, трапеция, прямоугольник). Установлено, что амплитуда эхо-сигнала не зависит от формы плоских отражателей.

Эксперименты, проведенные на образцах с плоскодонными сверлениями показали, что при расположении отражателей на расстоянии, при котором они не фиксируются прибором раздельно, амплитуда эхо-сигнала от двух рядом расположенных отражателей на 1-2 дБ меньше, чем от одиночного отражателя, площадь которого равна суммарной площади двух рядом стоящих отражателей.

Исследования по определению фронтальной разрешающей способности наклонного искателя проводились на образцах с искусственными дефектами типа плоскодонных и сферических отражателей. Показано, в частности, что дефекты диаметром 3 мм и больше выявляются уверенно при расстоянии между ними не менее 3 мм.

Экспериментально установлено, что применение эталонов и дефектометрии при радиографическом контроле не позволяет с необходимой точностью определять высоту шлаковых включений, которая нужна для получения единого оценочного параметра дефектов - его площади. Поэтому в главе 3 определение высоты дефектов производили путем установления корреляционных связей между высотой и шириной дефектов.

Во второй главе представлена теоретическая модель оценки объективности методов неразрушающего (НР) контроля. Показаны принципы, положенные в основу разработки и систематизации показателей объективности контроля, а также изложена методика количественного определения и сравнения результатов оценки качества сварных соединений разными методами НР-контроля.

В работах И.Н.Ермолова, А.З.Райхмана, Л.И.Яблоника, М.В.Розиной и других авторов рассмотрены отдельные вопросы оценки достоверности методов контроля. А.К.Гурвичем предложена общая теория определения эффективности контроля. В.Н.Волченко разработана математическая модель и методика оценки достоверности методов контроля. В развитие этой модели в данной работе сравнительная

достоверность, т.е. объективность методов контроля рассмотрена в системе абсолютных и относительных показателей.

Абсолютные показатели предназначены для отражения технических возможностей метода контроля к выявлению и количественной оценке размеров дефектов, а относительные – отражают количественную оценку качества сварных швов по результатам контроля, относительно нормативного размера допустимых дефектов.

Абсолютные показатели объективности контроля – это выявляемость дефектов и точность оценки их размеров. Выявляемость дефектов показывает вероятность обнаружения дефектов любых или только заданных размеров при определенном уровне чувствительности. Зависимость этой вероятности от размера дефекта является в первом случае так называемой функцией суммарной выявляемости $F_{\Sigma}(x)$, а во втором – функцией выявляемости для данного размера дефекта $F_{i}(x)$ (рис. Iа,б).

Точность оценки дефектов конкретного размера показана функцией $f_{\beta}(x)$ (рис. Iб) как плотность распределения случайных отклонений результатов контроля от некоторого среднего $\bar{x}$, зависящего от параметров контроля, причем

$$F_{i}(x) = F_{\beta}(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx . \qquad (I)$$

Наличие только абсолютных показателей объективности контроля не достаточно для выбора оптимального метода контроля. Например, трудно однозначно утверждать, какой контроль лучше: имеющий лучшую суммарную выявляемость дефектов $F_{\Sigma}(x)$ или имеющий более высокую точность оценки размеров дефектов.

При дальнейшем исследовании НР-контроля абсолютные показатели объективности рассмотрены совместно с распределением естественных (реальных) дефектов сварки, т.е. функцией $f_{\rho}(x)$ и с нормой допустимых дефектов $x_{н}$. В результате такого анализа получены относительные показатели объективности НК: информативность контроля $И$, вероятность правильной оценки допустимых дефектов $\Delta P_{г}$, вероятность правильной оценки недопустимых дефектов $P_{н}$, вероятность перебраковки α_{α}, вероятность недобраковки при оценке размеров выявляемых дефектов $\alpha_{\beta б}$, вероятность невыявления недопустимых дефектов $\Delta\alpha_{\beta}$, вероятность невыявления допустимых дефектов $P_{г}$, относительная объективность контроля $Д_{\Sigma}$.

На рис. Iг показана геометрическая иллюстрация формирования относительных показателей объективности результатов НК.

Произведение $f_p(x)$ и $F_t(x)$ показывает распределение вероятностей дефектов, которые выявлены при контроле и подлежат дальнейшей их классификации на допустимые и недопустимые. Интеграл от плотности распределения $f_{on}(x)$ выявленных дефектов численно равен вероятности выявления этих дефектов, от всех подвергшихся контролю дефектов:

$$И = \int_a^{\infty} f_{on}(x)dx \,, \qquad (2)$$

где $a = x_{min}$ – минимальный размер выявляемого дефекта.

Величина $И$ – информативность контроля – первый относительный показатель объективности контроля. Лучшим в отношении выявляемости дефектов будет тот метод контроля, который обеспечивает большую величину $И$.

При классификации дефектов на допустимые и недопустимые возможны ошибки при оценке их размеров из-за погрешностей в системе дефектоскоп-оператор. Для учета этих ошибок введем функцию $L(x)$, называемую функцией разбраковки (рис. Iв): $L(x) = 1 - F_в(x)$. Ее можно назвать также оперативной характеристикой (ОХ) метода контроля (по аналогии с ОХ выборочного контроля). Эта функция показывает вероятность принятия дефекта за допустимый в зависимости от его размера: чем меньше размер выявленного дефекта, тем больше вероятность принятия его за допустимый, и наоборот.

Произведение $f_{on}(x)$ и $L(x)$ показывает распределение вероятностей дефектов, оцененных допустимыми по результатам контроля. Тогда из рис. Iг следует, что доля выявленных дефектов, расположенных слева от $x_н$ и правильно отнесенных по результатам контроля к допустимым, является вероятностью правильной оценки допустимых дефектов $\Delta P_г$:

$$\Delta P_г = \int_a^{x_н} f_{об}(x)dx \,, \qquad (3)$$

а выявленные дефекты, расположенные слева от $x_н$ и ошибочно отнесенные к недопустимым, будут оцениваться вероятностью перебраковки $Ж_д$:

$$Ж_д = \int_a^{x_н} f_{on}(x)dx - \int_a^{x_н} f_{об}(x)dx \,. \qquad (4)$$

Аналогично дефекты, расположенные справа от $x_н$, могут быть также правильно и ошибочно классифицированы относительно $x_н$. Выявленные и правильно забракованные дефекты будем характеризовать вероятностью правильной оценки недопустимых дефектов $P_н$:

$$P_н = \int_{x_н}^{\infty} f_{оп}(x)dx - \int_{x_н}^{\infty} f_{об}(x)dx. \qquad (5)$$

Часть дефектов, выявленных при контроле, но ошибочно не забракованных, есть вероятность недобраковки $\mathcal{Х}_{рб}$ при оценке размеров обнаруженных дефектов:

$$\mathcal{Х}_{рб} = \int_{x_н}^{\infty} f_{об}(x)dx. \qquad (6)$$

Из рис. Iг видно, что информативность контроля

$$И = \Delta P_г + P_н + \mathcal{Х}_α + \mathcal{Х}_{рб}.$$

Из рис. Iг также следует, что часть дефектов, имеющихся в сварных швах, не выявлена при контроле. Доля невыявленных при контроле дефектов, имеющих размер меньше, чем $x_н$, является вероятностью невыявления допустимых дефектов $P_г$:

$$P_г = \int_{0}^{x_н} f_р(x)dx - \int_{a}^{x_н} f_{оп}(x)dx. \qquad (7)$$

Дефекты, имеющие размер больше, чем $x_н$, но которые не были обнаружены при контроле, будут оцениваться вероятностью невыявления недопустимых дефектов $\Delta\mathcal{Х}_β$:

$$\Delta\mathcal{Х}_β = \int_{x_н}^{\infty} f_р(x)dx - \int_{x_н}^{\infty} f_{оп}(x)dx. \qquad (8)$$

Легко видеть, что $\mathcal{Х}_{рб} + \Delta\mathcal{Х}_β = \mathcal{Х}_β$ – суммарная вероятность недобраковки.

Общая доля дефектов, правильно классифицированных относительно $x_н$, будет показателем относительной объективности $Д_Σ$. Величина $Д_Σ$ состоит из долей дефектов, правильно отнесенных к допустимым по результатам контроля, а также из доли дефектов, невыявленных при контроле и имеющих размер меньше $x_н$:

$$Д_Σ = \Delta P_г + P_н + P_г = 1 - (\mathcal{Х}_α + \mathcal{Х}_β). \qquad (9)$$

Показатель относительной объективности $Д_Σ$ как обобщающий (суммарный) позволяет количественно представить возможности метода контроля при решении одной из основных практических задач, связанной с альтернативным разделением дефектов в сварных швах на допустимые и недопустимые.

Указанные показатели объективности НК характеризуют качество выполнения функций, предписанных контролю, поэтому они могут быть использованы в качестве составляющих параметров при оценке технико-экономической эффективности методов НР-контроля.

В третьей главе приведен расчет абсолютных критериев объективности радиографического и УЗ-контроля для реальных условий

судостроительного завода.

Исследования проводились на сварных стыковых швах толщиной 17 и 40 мм, выполненных ручной дуговой сваркой по заводской технологии. УЗ-контроль швов толщиной 17 мм осуществлялся на условной чувствительности К=15-20 мм, а швов толщиной 40 мм - на К=25-40 мм. После УЗ-контроля был проведен радиографический контроль. По результатам каждого метода контроля были определены единые оценочные параметры дефектов - их площади.

С целью определения действительных размеров дефектов образцы фрезеровались послойно вдоль шва. Вскрытием обнаружено 165 и 173 включений соответственно в швах толщиной 17 и 40 мм. Основной вид дефектов - отдельные шлаковые включения, имеющие протяженность до 22 мм и высоту до 6 мм и расположенные в центральной части шва. Встречались также отдельные мелкие поры. Трещины и непровары не обнаружены. Поверхностных дефектов сварные швы не имели.

В соответствии с методикой, изложенной во второй главе, по полученным экспериментальным данным определены функции выявляемости $F_{\varepsilon}(x)$ для радиографического и УЗ-контроля.

Установлено, что при контроле швов δ =17 мм УЗ-методом на чувствительности К=15 минимальный размер выявляемого дефекта составляет a =7 мм^2, а при К=20 a =5 мм^2. При РГ-контроле a = =4 мм^2. При УЗ-контроле швов δ =40 мм параметр "a" изменяется от 11 до 6 мм^2 в зависимости от чувствительности (К=25-40). При радиографическом контроле a =6 мм^2.

Включения, превышающие размеры $x_н \geq$ 15 мм^2, в швах толщиной 17 мм надежнее всего выявляются радиографией, а в швах δ =40 мм - УЗ-контролем.

Точность количественной оценки размеров дефектов определялась на основе анализа корреляционных связей между действительными размерами дефектов, установленными при вскрытии швов, и размерами, определенными по результатам НР-контроля.

При контроле швов δ =17 мм наиболее высокая точность оценки размеров дефектов по площади наблюдается при РГ-контроле (среднее квадратическое отклонение $\sigma_{рг}$ =1,8 мм^2). Для УЗ-контроля $\sigma_{уз}$ =3,2 мм^2, т.е. разброс измерений почти в 2 раза больше, чем при РГ-контроле. Для швов δ =40 мм $\sigma_{рг} \approx \sigma_{уз} \approx$ $\approx$ 3,4 мм^2.

В четвертой главе приведен расчет и анализ относительных

показателей объективности радиографического и ультразвукового контроля швов, имеющих распределение естественных (реальных) дефектов $f_p(x)$ и норму допустимых дефектов согласно ТУ $x_н$ = = I5 мм^2.

Установлено, что при контроле соединений δ =I7 мм наибольшее количество дефектов выявляется при радиографии (информативность контроля $И$ =0,475), а при контроле соединений δ =40 мм – при УЗ-контроле ($И$ = 0,308).

Показано, что при дефектоскопии соединений δ =I7 мм РГ-контроль имеет более низкие значения ошибок ($\Delta\mathcal{Z}_\beta$ =0,0I8; $\mathcal{Z}_{\beta\delta}$ = =0,0I7, $\mathcal{Z}_\alpha$ =0,0I9), чем УЗ-контроль ($\Delta\mathcal{Z}_\beta$ =0,026; $\mathcal{Z}_{\beta\delta}$ =0,020; $\mathcal{Z}_\alpha$ =0,022), а при дефектоскопии соединений 40 мм УЗ-контроль характеризуется более низкими значениями ошибок ($\Delta\mathcal{Z}_\beta$ =0,027; $\mathcal{Z}_{\beta\delta}$ =0,0I6; $\mathcal{Z}_\alpha$ =0,0I6), чем радиографирование ($\Delta\mathcal{Z}_\beta$ =0,032; $\mathcal{Z}_{\beta\delta}$ =0,022; $\mathcal{Z}_\alpha$ =0,030). Это приводит к тому, что при оценке качества соединений толщиной I7 мм наиболее объективные результаты достигаются при радиографировании – показатель объективности $Д_\Sigma$ =0,946 (при УЗ-контроле $Д_\Sigma$ =0,932), а при дефектоскопии соединений толщиной 40 мм – при УЗ-контроле, который имеет $Д_\Sigma$ =0,94I (при РГ-контроле $Д_\Sigma$ =0,9I6).

Рассмотрены также две встречающиеся на практике ситуации по оценке объективности решений о сравнительном (относительно $x_н$) качестве конкретного сварного соединения. Одна из них связана с оценкой вероятностных характеристик качества до проведения контроля, другая – с оценкой этих характеристик после получения результатов контроля. Используя формулу Байеса и формулу полной вероятности, определены вероятности двенадцати возможных решений. Исходными данными для вычисления вероятности решений явились значения относительных показателей объективности НК.

Показано, что вероятность годности швов $Д_Г$ толщиной I7 мм до НР-контроля составляла 0,765, а после радиографирования возросла до 0,955 (после УЗ-контроля $Д_Г$ =0,942). Вероятность годности швов толщиной 40 мм увеличилась с 0,850 до 0,95I после УЗ-контроля и до 0,938 после радиографирования.

В пятой главе на основе 2-4 глав представлен сравнительный расчет технико-экономической эффективности ультразвукового и радиографического контроля. Показано, что подход к оценке технико-экономической эффективности методов контроля, основанный на

учете частоты ошибочных решений и стоимости последствий, связанных с этими решениями, является наиболее общим.

Поскольку в настоящей работе систематизированы и определены вероятности ошибочных решений при контроле (установлены показатели $\mathcal{Z}_{\alpha}$, $\mathcal{Z}_{\beta б}$, $\Delta\mathcal{Z}_{\beta}$), возможна более полная оценка технико-экономической эффективности этих методов контроля.

Затраты на контроль (C_{Σ}) включают затраты, связанные с контрольными операциями ($C_{к}$) и с исправлением бракованных участков ($C_{и}$), а также затраты, обусловленные отказом сварного соединения ($C_{о}$):

$$C_{\Sigma} = C_{к} + (\mathcal{Z}_{\alpha} + P_{н})(C_{и} + C_{к}) + (\mathcal{Z}_{\beta б} + \Delta\mathcal{Z}_{\beta})C_{о} . \qquad (10)$$

Сравнительная технико-экономическая эффективность Э методов НК определена отношением затрат, приходящихся на УЗ- и РГ-контроль и определенных по формуле (10), в которой критерии объективности вычислены в соответствии с изложенной во второй главе методикой, а стоимостные показатели (кроме $C_{о}$) взяты из отраслевых нормативных документов.

В работе рассмотрены значения $C_{о}$, отнесенные к затратам $C_{и}$, связанным с исправлением забракованных участков швов.

Исследованы два варианта таких соотношений:

1. $C_{о} \gg C_{и}$; 2. $C_{о} \approx C_{и}$.

Показано, что для первого варианта (аварийные ситуации) величина Э определяется только значениями относительных показателей объективности, характеризующих ошибки контроля. Для второго варианта Э вычисляется в зависимости от соотношения $\frac{C_{о}}{C_{и}}$, причем необходимо учитывать все указанные выше затраты. Установлено, в частности, что при дефектоскопии сварных швов толщиной 17 мм для первого варианта соотношений $C_{о}$ и $C_{и}$ эффективность УЗ-контроля на 30-65 % ниже радиографического, а для второго варианта УЗ-контроль эффективнее радиографического при соотношении $\frac{C_{о}}{C_{и}} < 45-50$.

При дефектоскопии сварных швов толщиной 40 мм УЗ-контроль однозначно эффективнее радиографического независимо от соотношений $C_{о}$ и $C_{и}$.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработана математическая модель оценки объективности методов неразрушающего контроля, в которой объективность рассмотрена в системе абсолютных и относительных показателей. Аб-

солютные показатели позволяют отражать возможности методов контроля по выявлению дефектов и количественной оценке их размеров. Относительные показатели характеризуют метод контроля по разделению обнаруженных дефектов на допустимые и недопустимые относительно нормативного уровня.

2. На основе физических представлений выявления дефектов при ультразвуковом и радиографическом методах контроля обоснован единый оценочный параметр величины дефекта – площадь дефекта в расчетном сечении шва. Использование этого параметра позволяет наиболее оптимально подходить к сравнению результатов разных методов контроля.

3. По результатам статистического анализа более 38 тыс. участков (протяженностью 300 мм) сварных швов установлено, что основной причиной брака (до 80 %) являются шлаковые включения. Это послужило основанием для исследования объективности ультразвукового и радиографического контроля применительно к обнаружению включений как наиболее часто встречающимся дефектам.

4. По опытным данным получены аналитические зависимости функций выявляемости шлаковых включений при ультразвуковом и радиографическом контроле сварных стыковых соединений толщиной 17 и 40 мм. Это позволило сравнить между собой возможности методов контроля по выявлению дефектов в сварных соединениях. Показано, что при контроле соединений толщиной 17 мм дефекты типа включений надежнее выявляются радиографией, а при контроле соединений толщиной 40 мм – ультразвуковой дефектоскопией.

5. Определены корреляционные связи между размерами дефектов, полученными при ультразвуковом и радиографическом контроле, и их действительными размерами, установленными после вскрытия сварных швов. Это позволило определить уравнения линейной регрессии, коэффициенты корреляции (которые составили 0,76 – 0,90) и точность оценки размеров дефектов. Показано, что с увеличением толщины контролируемых соединений с 17 до 40 мм точность оценки размеров дефектов при ультразвуковом контроле остается практически постоянной и среднее квадратическое отклонение составляет 3,2–3,4 мм^2, при радиографическом контроле – изменяется от 1,8 до 3,4 мм^2.

6. На производственных примерах рассмотрена применимость разработанной методики и формул для оценки объективности

ультразвукового и радиографического контроля сварных стыковых соединений изделий ответственного назначения. Это дало возможность сравнить разные физические методы контроля между собой. Показано, что при оценке качества сварных соединений толщиной 17 мм более объективным является радиографический контроль, у которого показатель объективности $Д_{\Sigma}$ =0,946 (при ультразвуковом контроле $Д_{\Sigma}$ =0,932). При дефектоскопии соединений толщиной 40 мм более объективные результаты обеспечивает ультразвуковой контроль, у которого $Д_{\Sigma}$ =0,941 (при радиографии $Д_{\Sigma}$ = = 0,916).

7. Получены на основе формулы Байеса варианты решений о качестве швов до и после проведения неразрушающего контроля. Применительно к производственным примерам показано, что вероятность годности сварных соединений толщиной 17 мм с 0,765 до проведения контрольных испытаний возросла до 0,955 после радиографического и до 0,942 после ультразвукового контроля, а вероятность годности соединений 40 мм с 0,850 до испытаний возросла до 0,951 после ультразвукового и до 0,938 после радиографического контроля.

8. Экспериментально установлено, что амплитуда эхо-сигнала практически не зависит от конфигурации дефекта, а зависит от его площади.

9. Разработана методика оценки технико-экономической эффективности методов неразрушающего контроля, которая учитывает объективность контроля, а также затраты, связанные с исправлением дефектных участков швов и с отказом сварного соединения. Расчеты по методике показали, что при дефектоскопии сварных швов толщиной 40 мм эффективность ультразвукового контроля более чем на 60 % превышает эффективность радиографического контроля, что дает на 5 тыс.м. швов экономию свыше 14 тыс. руб. Это послужило основанием для рекомендаций к более широкому использованию ультразвукового контроля вместо радиографирования.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Волченко В.Н., Маслов Б.Г., Лупачев В.Г. Количественная оценка, учет и анализ качества сварных соединений. "Автоматическая сварка", 1974, № 11.
2. Алешин Н.П., Лупачев В.Г. Исследование направленности отражателей различной формы. Тезисы докладов республиканской

конференции "Механизация и автоматизация сварочного производства", Могилев, 1975.
3. Волченко В.Н., Лупачев В.Г. К вопросу о выборе неразрушающих методов контроля. Там же.
4. Волченко В.Н., Лупачев В.Г. Сравнение выявляемости дефектов при ультразвуковом и радиографическом контроле стыковых сварных соединений толщиной 30-40 мм. Материалы конференции "Комплексная дефектоскопия сварных и паяных соединений". М., МДНТП, 1975.
5. Волченко В.Н., Касаткин В.В., Лупачев В.Г. Влияние усиления сварного шва на выявляемость дефектов при неразрушающем контроле. "УШ Всесоюзная научно-техническая конференция по неразрушающим физическим методам и средствам контроля". Доклады. Часть I. Кишинев, 1977.
6. Волченко В.Н., Касаткин В.В., Лупачев В.Г. Критерии оценки объективности неразрушающих методов контроля. Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции "Пути повышения эффективности сварочного производства и улучшения качества сварных конструкций". Могилев, 1978.
7. Алешин Н.П., Лупачев В.Г. Точность оценки размеров шлаковых включений при ультразвуковом и радиографическом контроле сварных швов. Там же.

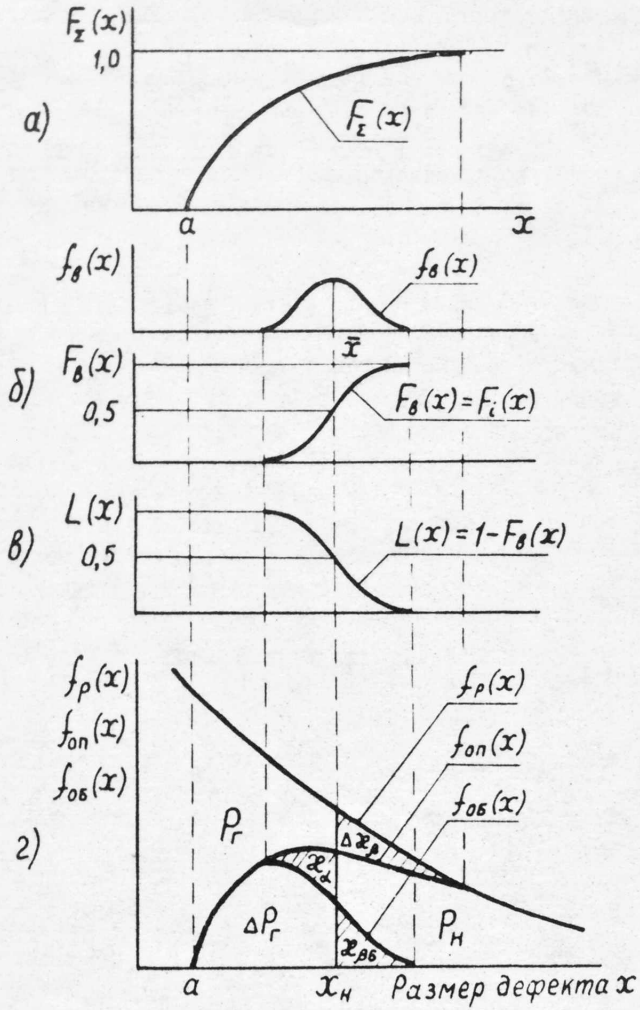


Рис. I. Графики вероятностных моделей оценки объективности методов неразрушающего контроля.