



## СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ ПОДГОТОВКИ И СБОРКИ ПОД СВАРКУ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

П. В. ЗАНКОВЕЦ, канд. техн. наук (Ин-т сварки и защитных покрытий НАН Беларуси, г. Минск)

На основе опыта изготовления сварных технологических трубопроводов с использованием математического моделирования и информационных технологий выполнены исследования и рассчитан удельный вес влияния подготовки и сборки под сварку на уровень качества сварных соединений трубопроводов различных типоразмеров.

*Ключевые слова:* ручная дуговая сварка, подготовка и сборка под сварку, технологические трубопроводы, сварные соединения, дефектность, причины брака, доминирующие факторы, уровень качества

Современный уровень компьютерной техники создает хорошие перспективы для применения достаточно сложных моделей, отражающих многофакторность и взаимосвязь явлений, которые имеют место в различных технологиях. Компьютеризация математического моделирования делает его доступным для широкого круга пользователей, связанных не только с исследованием, но и с разработкой и оптимизацией инженерных решений [1–3].

В отличие от предприятий машиностроения, ориентированных на массовое изготовление однородной продукции, сварочно-монтажное производство (СП) с помощью сварки выпускает, как правило, единичную или мелкосерийную продукцию, разнохарактерную как по назначению, так и внутреннему содержанию: способам производства, применяемым конструкциям, свариваемым и сварочным материалам. Следовательно, использование классической математической статистики, применяемой в управлении качеством для массовой (серийной) однородной продукции и монтажного производства, становится практически невозможным. В связи с этим необходимо решить ряд задач, и прежде всего задачу систематизации производства для применения аппарата математической статистики. Установлено, что при формировании генеральной совокупности сварных соединений за основу должна быть принята группировка по основным элементам производства. В качестве группировочных признаков (ГП) нами приняты марка стали, диаметр трубопровода или длина сварного соединения в металлоконструкции, толщина свариваемого металла, способ сварки, метод контроля. На этой основе разработан алгоритм, учитывающий особенности СП. Например, сварные соединения стыков диаметром

от 350 до 500 мм и толщиной стенки 6,0...8,0 мм, изготовленные способом ручной дуговой сварки (РДС), составляют однородную базовую совокупность (БС) стыков, а объекты, где выполняют сварку этих стыков, являются пространством случайных событий с определенными условиями [3].

Формирование БС математически описывается следующей моделью:

$$СМК \in \sum ОС \in \sum СП \in \sum ГЭ \in \sum ГП, \quad (1)$$

$$\text{где } СП = \sum_{i=1}^k ЭП_i; \quad ЭП = \sum_{j=1}^m ГП_j;$$

или в матричной форме

$$N_{BC_i} = \begin{vmatrix} ЭП_1 + ЭП_2 + \dots + ЭП_i \\ ГП_{11} + ГП_{21} + \dots + ГП_{i1} \\ ГП_{12} + ГП_{22} + \dots + ГП_{i2} \\ \dots + \dots + \dots + \dots \\ ГП_{1j} + ГП_{2j} + \dots + ГП_{ij} \end{vmatrix},$$

где СМК — строительно-монтажный комплекс; ОС — объект строительства; ЭП — элементы производства; ГЭ — группы элементов;  $N$  — количество элементов, входящих в БС;  $k, m$  — количество элементов соответственно производства и ГП.

За единицу БС принят сварочный стык или участок стыка длиной 300 мм. Элементы производства и их группы для каждой совокупности стыков должны изменяться незначительно и обобщать  $i$ -ю строительно-монтажную серию стыков, изготавливаемую за определенный цикл работы в определенных факторных условиях конкретной монтажной организацией. От известного определения партии продукции по ГОСТ 15895–70 введенное нами понятие отличается тем, что продукция может быть изготовлена на разных объектах и в различное время. Обязательным условием при изготовлении базовой партии является наличие единой технической документации.

Следующая задача состояла в разработке унифицированных показателей измерения дефектности. В отдельных работах приводятся показатели качества сварных швов по доле брака, доле суммарной дефектности в процентах и относительной площади дефектов  $g$  на участке контроля. Применение таких показателей для условий монтажного производства затруднено по нескольким причинам. Во-первых, нет связи показателей с действующей нормативной документацией по оценке качества. Во-вторых, расчеты относительной площади кольцевых сварных соединений затруднены. Кроме того, площадь дефектов  $g$  вуалирует выявление опасного дефекта типа сквозного свища, нарушающего плотность системы. По сравнению с протяженным неглубоким непроваром  $g$  сквозного свища меньше, чем непровара. В соответствии с требованиями ИСО 3834 и СНИП расчетные формулы устанавливают общую и недопустимую дефектность. Для оценки структуры дефектности и ее соотношений в целом по базовой совокупности стыков нами введен комплексный показатель, позволяющий оценивать дефекты как по их протяженности  $L$  ( $L_o$  — общих выявленных дефектов,  $L_6$  — забракованных, требующих устранения), так и по количеству  $D$  ( $D_o$  — количество общих выявленных дефектов,  $D_6$  — забракованных). На основании информации об  $L$  или  $D$  (или совместно) за определенный цикл контроля (месяц, квартал, год и т. д.) можно характеризовать качественное состояние сварочного производства, его процессы и условия. Такой показатель является представительным для каждой конкретной технологии, исполнителя и в целом строительной организации. Численное выражение этого показателя и его структура названы нами статистической формулой дефектности (ФБ) [3–5]. Общее выражение ФД БС имеет вид

$$\sum \sum \left| \frac{L_o, D_o}{L_6, D_6} \right| = \Pi(x_o, x_6) + \text{Ш}(y_o, y_6) + \text{Н}(z_o, z_6) + \dots, \quad (2)$$

где  $\Pi$ ,  $\text{Ш}$ ,  $\text{Н}$  — соответственно поры, шлаковые включения, непровары;  $x_o, y_o, z_o$  и  $x_6, y_6, z_6$  — соответственно общее и забракованное количество и протяженность дефектов.

Частные выражения для  $L_o$  и  $L_6$  имеют вид

$$L_o = \sum_{i=1}^n L_o^i/n = \sum_{i=1}^n \Pi_o^i/n + \sum_{i=1}^n \text{Ш}_o^i/n + \sum_{i=1}^n \text{Н}_o^i/n + \dots; \quad (3)$$

$$L_6 = \sum_{i=1}^n L_6^i/n = \sum_{i=1}^n \Pi_6^i/n + \sum_{i=1}^n \text{Ш}_6^i/n + \sum_{i=1}^n \text{Н}_6^i/n + \dots \quad (4)$$

Формула (3) дает информацию об общей дефектности, а (4) — о недопустимой по СНИП.

Для показателей  $\bar{D}_o$  и  $\bar{D}_6$  частные выражения формулы дефектности аналогичны выражениям (3) и (4).

Так, согласно ФД БС структура дефектности по причинам определяется следующим образом:

$$D_o = \sum_{i=1}^n D_o^i/n = \sum_{i=1}^n \Pi_o^i/n + \sum_{i=1}^n \text{Ш}_o^i/n + \sum_{i=1}^n \text{Н}_o^i/n + \dots, \quad (5)$$

где  $n$  — количество проконтролированных участков.

Известно, что на уровень качества сварных соединений влияет множество различных факторов: подготовка и сборка, квалификация исполнителей, сварочные материалы, сварочное и вспомогательное оборудование, сварочный процесс, организация работ, квалификация инженерно-технических работников, нарушение ритма работ, дефектоскопический контроль, термообработка, условия сварки, время года и др. По этим факторам нами выполнены дополнительные исследования, позволившие установить доминирующие в образовании дефектности факторы (90 до 97 %) — подготовка и сборка под сварку, квалификация исполнителей, сварочные материалы, сварочный процесс, сварочное оборудование [4, 5].

Однако степень влияния на уровень качества каждого фактора различна из-за большого количества типоразмеров сварных соединений, различных сварочных и свариваемых материалов, способов и условий сварки. Поэтому определение главных причин образования дефектов при сварке возможно только в конкретных производственных условиях для конкретной БС стыков.

Определение степени влияния того или иного производственного фактора на качество сварных соединений конкретных типоразмеров позволит оптимизировать сварочное производство за счет укрепления и модернизации его слабых звеньев. Уровень качества каждого фактора в свою очередь определяется его основными параметрами, которые могут влиять как положительно, так и отрицательно. Отрицательные факторные параметры являются, как правило, причиной образования дефектности (брака) при сварке (рис. 1). Критерием оптимальности служит уровень дефектности, причинами которой являются конкретные факторы и их параметры. Таким образом, реализуется важный принцип управления качеством сварки по обратной связи алгоритма фактор–причина–дефект.

Исследования проводили при получении сварных соединений технологических трубопроводов различных типоразмеров способами РДС, механизированной в среде углекислого газа, в смеси  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$  и аргодуговой сваркой (РАДС). Дефектность определяли по данным, полученным с



Квалификация исполнителей	Подготовка и сборка	Сварочные материалы	Сварочное оборудование	Сварочный процесс	Факторы
Разряд	Подготовка кромок	Технологические свойства	Измерительные приборы	Способ сварки	Причины
Тренированность	Зазор	Условия хранения	Состояние контактов	Тип соединения	
Стаж	Зачистка	Состояние покрытия	Стабильность тока	Режимы	
Возраст	Прихватка	Внешний вид	Стабильность напряжения	Контроль	
1,4 Фш, 0,5 Пд, 0,5 Н, 0,4 П, 0,3 Пр	1,4 Н, 1,0 Ш, 0,8 П, 0,3 Фш, 0,2 Пр	0,9 П, 0,7 Ш, 0,6 СПШ	Дефектность допустима по ТУ и СНиП	0,3 Т, 0,6 Ш, 0,6 П, 0,3 Н	
Структура дефектности ⇒ ДП Σ Д <sub>о</sub> = 1,4 Н + 1,0 Ш + 0,8 П + 0,3 Фш + 0,2 Пр ⇒ Подготовка и сборка					

Рис. 1. Алгоритм определения доминирующих причин (ДП) образования дефектности сварных соединений по их структуре: Фш — дефекты формы шва; Пд — подрезы; СПШ — скопления и цепочки пор и шлаков; Т — трещины; Пр — прочие дефекты

помощью неразрушающих методов контроля (НМК) — визуального (ВК), рентгенографического (РГК) и ультразвукового (УЗК).

Алгоритм исследований представлен на рис. 1. Экспериментально и на предобъектных тренировках сварщиков различных СП изготавливали сварные соединения с определенными отрицательными

факторными параметрами. Цель исследований — установить типы дефектов и их количество, образуемое в момент действия определенных причин, определить структуру дефектности в зависимости от причин и ДП в ряду действующих причин на объектах сварочных работ.

Систематизация СП в БС и разработка количественных единиц измерения дефектности позволили создать компьютерную систему учета, контроля и анализа качества сварочных работ и сварных соединений. На основе данных НМК созданы базы данных и знаний о состоянии качества выполняемых работ и дефектности сварных соединений. Пример окна системы при работе с оперативной информацией о состоянии качества сварочных работ представлен на рис. 2.

Для практических условий важно определить, какая дефектность представляет данные ДП и, как следствие, конкретный производственный фактор технологического процесса сварки. Вероятность представления ДП определяли на основании статистических данных НМК, выполненного за цикл, не менее одного года с использованием компьютерных технологий и математического моделирования:

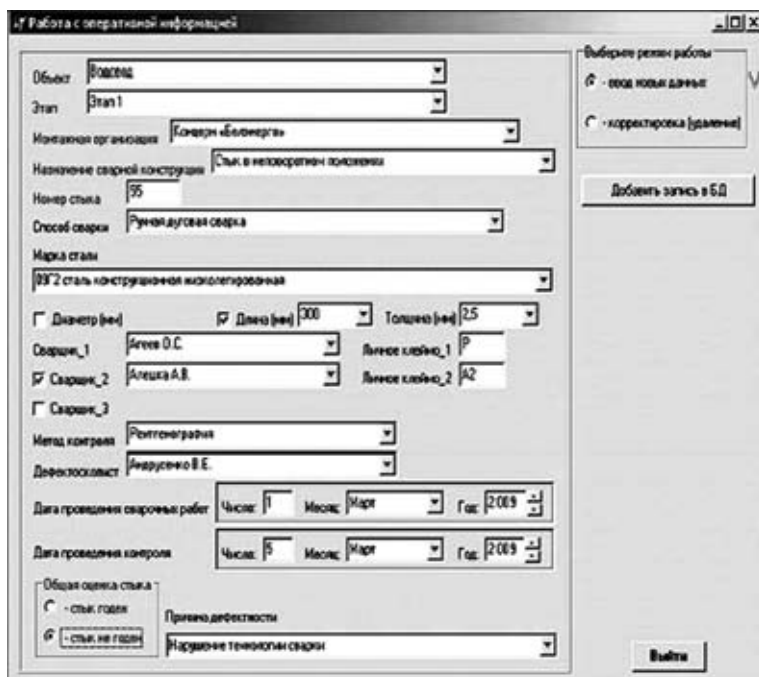


Рис. 2. Главное окно системы при работе с оперативной информацией о состоянии качества сварочных работ

$$P(\text{ДП}) = p_1/p_2 \text{ при } 0 < P(\text{ДП}) < 1, \quad (6)$$

где  $p_1$  — число практических подтверждений конкретной ДП;  $p_2$  — количество всех ДП;

$$P(\text{ДП}) = (A/\Sigma(\text{ФП})) \cdot 100 \%, \quad (7)$$

где  $\Sigma(\text{ФП})$  — количество всех предполагаемых повторений причины;  $A$  — количество практических подтверждений данной причины.

Например, за 2009 г. по фактору «Подготовка и сборка под сварку» (ПС) выявлено 2053 случая, когда ДП образования недопустимой дефектности определялись его отрицательные параметры, из них было подтверждено экспертно 1754 случая. Вероятность представления ДП причиной

$$P(\text{ДП})_{\text{ПС}} = 1754/2053 = 0,85.$$

Причины дефектности в цепочке фактор-причина-дефект анализировали с использованием массивов истории качества БС не менее, чем за два года [6–8]. Из отчетов операторов-дефектоскопистов или экспертным путем установлены основные причины и дефектность, выявленную на участке контроля в момент действия указанной причины. Причины и дефектность обрабатывали и систематизировали с помощью компьютерной техники (рис. 3, 4).

Подготовка и сборка под сварку является одним из доминирующих факторов, который определяет выходной уровень качества сварных соединений. Однако исследования удельного веса и количественная оценка его влияния на качество конкретных типоразмеров сварных соединений практически отсутствуют.

Брак, допущенный по этому фактору, приводит к специфическим дефектам, которые генерируются основными причинами (отрицательными параметрами) брака по данному фактору — плохой подготовкой кромок (угол притупления, радиус скругления), нарушением размеров зазора (соосности) между свариваемыми элементами, некачественной зачисткой (наличием ржавчины, вмятин, сколов, масел), прихваткой и др. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Установление закономерностей образования дефектности и связи с причинами ее образования является важной задачей, решение которой позволит принимать превентивные меры по их предупреждению до начала сварочно-монтажных работ, совершенствовать

технологические процессы и осуществлять управление качеством сварки в режиме реального времени. Экспериментальные исследования функциональной связи причин образования дефектности с ее количеством не выявили, однако установлена важная статистическая взаимосвязь между структурой дефектности и причиной ее образования.

Используя результаты исследований причин дефектности по фактору ПС и формулы (3) и (6), получаем следующие выражения:

$$\begin{aligned} \text{ПС}_1 &= \text{П}(0,8) + \text{Ш}(1,3) + \text{Н}(1,4) + \text{Фш}(0,25) + \text{Пр}(0,2); \\ \text{ПС}_2 &= \text{П}(0,6) + \text{Ш}(0,9) + \text{Н}(1,7) + \text{Фш}(0,4) + \text{Пр}(0,3); \\ \text{ПС}_3 &= \text{П}(1,1) + \text{Ш}(1,4) + \text{Н}(1,3) + \text{Фш}(0,3) + \text{Пр}(0,25); \\ \text{ПС}_4 &= \text{П}(0,8) + \text{Ш}(1,0) + \text{Н}(1,5) + \text{Фш}(0,5) + \text{Пр}(0,2); \\ \text{Ф}_{\text{ПС}} &= \text{П}(0,8) + \text{Ш}(1,0) + \text{Н}(1,4) + \text{Фш}(0,3) + \text{Пр}(0,2), \end{aligned}$$

где  $\text{ПС}_1$  — подготовка кромок;  $\text{ПС}_2$  — зазор (соосность);  $\text{ПС}_3$  — зачистка;  $\text{ПС}_4$  — прихватка;  $\text{Ф}_{\text{ПС}}$  — структура дефектности по фактору ПС.

Таким образом, экспериментальным путем нами установлено, что каждый отрицательный параметр исследуемого фактора является причиной

Дата	РТ или УЭК	Клеймо	Кл. 1	Кл. 2	Кл. 3	Пров. стык	Дер. стык	О	В	Пр. шов	Пр. дер.	Причина
01.01.2009	РТ	И				0	0		8	400		
01.01.2009	РТ	Ш				4	1	273	8	3428,9	250	Сварочное оборудование
01.01.2009	РТ	ГТ				5	0	159	3	2496,3	0	
01.02.2009	УЭК	ЧЧЧ				13	0		159	5	6400	0
01.02.2009	УЭК	Н				0	0		15	17550	850	Сварочные материалы
01.02.2009	УЭК	88				0	0		15	17550	850	Прочие
01.02.2009	УЭК	66				0	0		10	1500	0	
01.02.2009	УЭК	П2				0	0		8	24000	0	
01.02.2009	УЭК	11				0	0		8	26000	2000	Технология сварки
01.02.2009	УЭК	ГПП				1	0	1820	14	3203	0	
01.02.2009	УЭК	66				1	0	630	14	1978	0	Калибровка сварки
01.02.2009	УЭК	66				4	0	630	12	7913	0	
01.02.2009	УЭК	ГПП				3	2	325	10	3062	480	Калибровка сварки
01.02.2009	УЭК	99				3	2	325	10	3062	520	Подготовка и сборка

Рис. 3. Пример окна системы при работе с базой данных о качестве сварных соединений и причинах брака

Дата	РТ или УЭК	Клеймо	Кл. 1	Кл. 2	Кл. 3	Пров. стык	Дер. стык	О	В	Пр. шов	Пр. дер.	Причина
08.03.2010	РТ	М2				62	3	159	5	30954,1	370	Подготовка и сборка
13.03.2010	РТ	88				5	2	219	6	3436,3	250	Подготовка и сборка
17.03.2010	РТ	11	С2			9	1	325	6	8164	340	Подготовка и сборка
27.03.2010	М.Ж.	ЮЮ	22			27	2	273	36	23144,9	420	Подготовка и сборка
30.03.2010	М.Ж.	Э	РР			7	2	720	9	15825,6	1130	Подготовка и сборка
30.03.2010	М.Ж.	Э	РР			3	1	630	8	5934,6	495	Подготовка и сборка
17.05.2010	РТ	99				27	6	720	9	41042	18086	Подготовка и сборка
22.05.2010	РТ	С				10	2	720	9	22608	452	Подготовка и сборка
24.05.2010	РТ	99	С4	ПП		16	14	720	9	36173	31651	Подготовка и сборка
25.05.2010	РТ	С				14	7	1220	11	52631	26916	Подготовка и сборка
29.05.2010	РТ	99	РР			11	7	1220	11	42139	10536	Подготовка и сборка
17.06.2010	РТ	77				10	4	1220	11	68000	3600	Подготовка и сборка
25.07.2010	М.Ж.	11	1	В		4	2	640	10	8038	900	Подготовка и сборка
32.07.2010	М.Ж.	43	3			4	2	2220	10	27983	3430	Подготовка и сборка
25.07.2010	М.Ж.	11	1	3		4	2	4427	10	59003	6800	Подготовка и сборка
27.07.2010	М.Ж.	11	1	3		4	2	4427	10	59003	6800	Подготовка и сборка
21.08.2010	РТ	77	ШВ			15	4	620	19	16200	2100	Подготовка и сборка

Рис. 4. Пример получения выходной информации по фактору ПС



Таблица 1. Дефектность, выявленная по причинам фактора ПС, шт.

Способ сварки	Сварено стыков, шт.	Проконтролированные участки длиной 300 мм, шт.	Поры и их скопления	Шлаковые включения	Непровары	Дефекты формы шва	Прочие дефекты
РДС	2450	7320	5850	8050	10980	2930	1830
РДС в CO <sub>2</sub>	1600	4200	2940	4100	5900	1350	920
РДС в CO <sub>2</sub> +Ar	2100	5460	4370	4920	7650	1640	1100
РАДС	1820	5100	4590	4450	6650	1530	1020
Итого	7970	22080	17750	21520	31180	7450	4870

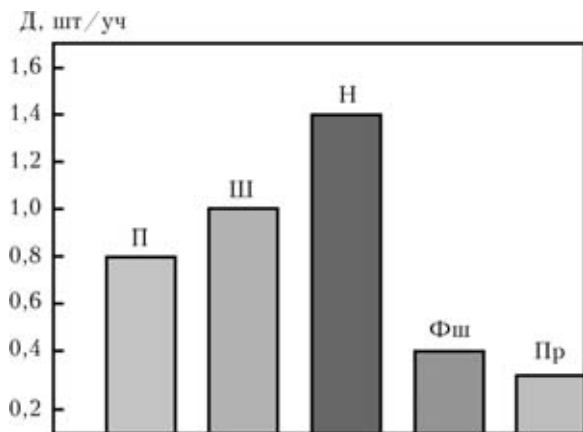


Рис. 5. Диаграмма дефектности D, образующейся по причинам фактора ПС при сварке технологических трубопроводов диаметром от 57 до 500 мм

образования уникальной, присущей только ему структуре дефектности [9–11] (рис. 5).

В структуре дефектности по причинам фактора ПС преобладают дефекты типа Н (1,4 на участок контроля), Ш, П и их скопления, а также различные дефекты Фш.

Следовательно, причины образования дефектности сварных соединений технологических трубопроводов по фактору ПС позволяют принимать

обоснованные решения по совершенствованию его параметров, снижению удельного веса брака и повышению уровня качества сварных соединений, а кроме того, определить общий удельный вес влияния фактора на уровень качества сварных соединений конкретных типоразмеров при различных способах сварки, марках свариваемых материалов и условиях сварочного процесса.

Результаты исследования влияния фактора ПС на уровень качества (дефектность) сварных соединений технологических трубопроводов разных типоразмеров представлены в табл. 2, из которой видно, что он колеблется от 95,1 до 90,7 %. Установлено, что при механизированном и автоматизированном способах сварки соединений брак значительно меньше, чем при РДС. Из таблицы следует, что с увеличением диаметров трубопроводов удельный вес влияния на уровень качества сварных соединений подготовки и сборки возрастает независимо от способов сварки. Так, при РДС трубопроводов диаметром 57 мм из 1250 стыков всего забраковано 61, из них по причине исследуемого фактора — 11 стыков (или 18 %). В то же время при сварке трубопроводов диаметром 500 мм из 1790 стыков всего забраковано 167, из них по причинам исследуемого фактора — 57

Таблица 2. Влияние фактора ПС на уровень качества сварных соединений технологических трубопроводов

Способ сварки	Марка стали	Толщина стали, мм	Диаметр трубопровода, мм	Количество сваренных стыков, шт.	Количество забракованных стыков, шт.	Уровень качества, %	Количество забракованных стыков по фактору ПС, всего, шт.	Удельный вес фактора ПС, %
РДС	09Г2	2,5	57	1250	61	95,1	11	18,0
РДС в CO <sub>2</sub> +Ar	20Х	4,0	89	1270	73	94,3	18	24,6
РАДС	14ХГС	4,0	89	5740	360	93,7	84	23,3
РДС в CO <sub>2</sub> +Ar	20Х	6,0	112	4300	290	93,3	73	25,3
РДС	14ХГС	6,0	112	2790	215	92,3	64	29,7
РАДС	14ХГС	10,0	289	2900	235	91,9	74	31,5
РДС	20Х	10,0	289	1500	132	91,2	44	33,2
	14ХГС	14,0	500	1790	167	90,7	57	34,1
Итого				21540	1533	92,7	425	27,7

(или 34,1 %), т. е. сварка стыков больших диаметров сопряжена с усложнением технологии изготовления сварных соединений.

Основные причины роста брака состоят в том, что с увеличением диаметров трубопроводов усложняется сам процесс ПС. Даже незначительные отклонения зазора (или соосности) свариваемых элементов от требуемых техническими регламентами приводят к образованию недопустимых дефектов. Сварку в данном случае выполняют, как правило, за несколько проходов, и после каждого необходимы зачистка наложенного слоя от окислы и шлаков, осуществление контроля качества и других мероприятий.

## Выводы

1. В результате исследований и на основе данных НМК качества сварных соединений технологических трубопроводов определены доминирующие факторы, генерирующие от 90 до 97 % образующихся дефектов.

2. Установлены причинно-следственные связи образования дефектности сварных соединений, что позволяет принимать превентивные меры по предупреждению брака по причинам наличия этого фактора и управлению качеством сварки по обратным связям алгоритма фактор–причина–дефект.

3. Рассчитан удельный вес влияния подготовки и сборки под сварку на выходной уровень качества сварных соединений в зависимости от типоразмеров трубопроводов и способов сварки, что позволяет оперативно принимать обоснованные управляющие решения по совершенствованию конкретных технологических процессов и обеспечению требуемого качества сварных соединений.

1. Шахматов М. В., Ерофеев В. В., Коваленко В. В. Работоспособность и неразрушающий контроль сварных сое-

динений с дефектами. — Челябинск: ЦНТИ, 2000. — 227 с.

2. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. — Киев: ИНДПРОМ, 2001. — 815 с.
3. Занковец П. В., Шелег В. К. Математическое моделирование влияния производственных факторов на образование дефектов сварных соединений // Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. тр. Второй междунар. конф., 13–17 сент. 2004 г., пос. Кацивели, Крым, Украина. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2004. — С. 95–98.
4. Занковец П. В., Шелег В. К. Исследование и обоснование влияния производственных факторов на образование дефектности сварных соединений // Сварка и родственные технологии. — 2004. — № 6. — С. 93–96.
5. Совершенствование технологических процессов и оптимизация качества сборочно-сварочных работ / П. В. Занковец, В. К. Шелег, Л. С. Денисов и др. — Минск: Право и экономика, 2004. — 343 с.
6. Занковец П. В., Здор Г. Н., Шелег В. К. Разработка методов и исследование причин дефектности сварных соединений // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 2006. — № 2. — С. 107–113.
7. Занковец П. В. Исследование причинно-следственных связей образования дефектов в сварных соединениях по результатам неразрушающего контроля // Защитные покрытия, сварка и контроль: Сб. тр. 37-го Межгос. сем., Минск, 29–30 марта 2006 г. — Минск: УП «Камет», 2006. — С. 67–72.
8. Занковец П. В. Математическое моделирование и информационные технологии в обеспечении качества сварных металлоконструкций // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 2007. — № 2. — С. 120–128.
9. Занковец П. В., Иванов Г. А., Прончева В. Н. Компьютерная система расчета норм расхода сварочных материалов на сварку стальных трубопроводов // Трубопровод. трансп. (теория и практика). — 2007. — № 4. — С. 54–55.
10. Денисов Л. С., Занковец П. В. Исследование и анализ дефектности сварных соединений, выполненных сваркой плавлением // Технологии, оборудование, качество: Сб. тр. 11-го междунар. симпоз., г. Минск, 2008. — Минск: Принт Плюс, 2008. — С. 85–88.
11. Занковец П. В. Оптимизация качества и конкурентоспособности сварочной продукции на основе математического моделирования причинно-следственных связей образования дефектов сварных соединений // Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. тр. Четвертой междунар. конф., 26–29 мая, 2009 г., пос. Кацивели, Крым, Украина. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2009. — С. 17–22.

Investigations were carried out, and contribution of the effect of preparation and assembly for welding to the level of quality of the welded joints on different-diameter pipelines was estimated based on the experience of manufacture of welded industrial pipelines by using mathematical modelling and information technologies.

Поступила в редакцию 03.03.2011