

УДК 622.692

Л. А. СОСНОВСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, А. Н. КОЗИК, кандидат технических наук, ОАО «Гомельтранснефть Дружба», С. В. ТОКАРЬ, ООО «НПО ТРИ-БОФАТИКА», В. В. ВОРОБЬЕВ, кандидат технических наук, ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Е. А. СИГАЙ, Белорусский государственный университет транспорта, А. А. ПРОХОРЕНКО, ОАО «Гомельтранснефть Дружба», Гомель

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ С ДАННЫМИ УЗВ-КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Поставлена и решена задача о поиске (по результатам экспериментов) корреляционной связи между ударной вязкостью КС с функцией У отклика УЗВ дефектоскопа и риском р эксплуатации сварных соединений.

Образцы для испытаний на ударную вязкость вырезали из нефтепроводной трубы и испытывали на динамическую прочность. Типы образцов и схемы их испытаний даны в таблице 1. Для исключения влияния наплыва сварного шва на результаты испытаний, криволинейные образцы были сошлифованы с наружной и внутренней стороны трубы на 0,5 мм с каждой из сторон, таким образом, что они стали прямолинейными. Единые размеры всех образцов были получены совместной шлифовкой на плоскошлифовальном станке с магнитной плитой. Рабочие, размеры сечения образца составляют  $7 \times 8,3 \text{ мм} = 58,1 \text{ мм}^2 = 0,58 \text{ см}^2$ .

Для имитации дефекта типа «подрез» сделаны надрезы глубиной 0,3; 0,5; 0,7; 1,0 мм. Надрезы выполнены на строгальном станке с помощью реза.

Результаты испытаний сведены в таблицу 1.

В ходе УЗВ контроля были получены функции отклика У (по оси ординат) вдоль толщины (ось абсцисс) стенки трубы (рисунок 1). Для анализа на рисунке 2, в качестве примера, показаны четыре реализации функции отклика У, с оцифровкой координатных осей. Как видно, каждая реализация существенно различна по величине У: она изменяется в 3–5 и более раз.

Таблица 1 – Типы образцов, схемы и результаты испытаний

Схема испытаний	Тип образца	шт.	Обознач.	Динам. прочн. КС, Дж/см <sup>2</sup>	Средн. ариф. $\overline{КС}$ , Дж/см <sup>2</sup>	Станд. откл. $S_{КС}$ , Дж/см <sup>2</sup>	Дисперсия $D_{КС}$ , (Дж/см <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	
	Основной металл без надреза	20	КС(Ме)	38,04..39,93	39,04	0,50	0,25	
	Основной металл с надрезом, мм	0,3	5	KCV <sub>0,3</sub> (Me)	27,87..28,77	28,23	0,36	0,13
		0,5	5	KCV <sub>0,5</sub> (Me)	25,76..28,92	27,62	1,16	1,36
		0,7	5	KCV <sub>0,7</sub> (Me)	22,57..27,54	25,59	2,35	5,53
		1,0	5	KCV <sub>1,0</sub> (Me)	22,49..23,49	23,17	0,39	0,15
	Сварное соединение без надреза	53	КС(Сs)	16,70...29,03	25,85	2,52	6,35	
	Сварное соединение с надрезом, мм	0,3	30	KCV <sub>0,3</sub> (Ss)	9,71..26,07	15,71	4,57	20,88
		0,5	30	KCV <sub>0,5</sub> (Ss)	7,60..23,54	14,12	5,46	29,86
		0,7	30	KCV <sub>0,7</sub> (Ss)	6,12..17,79	9,70	3,04	9,24
		1,0	30	KCV <sub>1,0</sub> (Ss)	5,62..21,08	10,27	3,58	12,83
	Сварное соединение без надреза	54	КС(Сs-)	9,12..29,78	26,43	3,83	14,69	
	Сварное соединение с надрезом, мм	0,3	30	KCV <sub>0,3</sub> (Ss-)	8,63..28,05	21,60	4,87	23,71
		0,5	30	KCV <sub>0,5</sub> (Ss-)	12,79..27,99	20,92	4,00	15,97
		0,7	30	KCV <sub>0,7</sub> (Ss-)	7,46..26,20	15,93	4,09	16,71
		1,0	30	KCV <sub>1,0</sub> (Ss-)	8,63..18,47	13,67	2,89	8,36

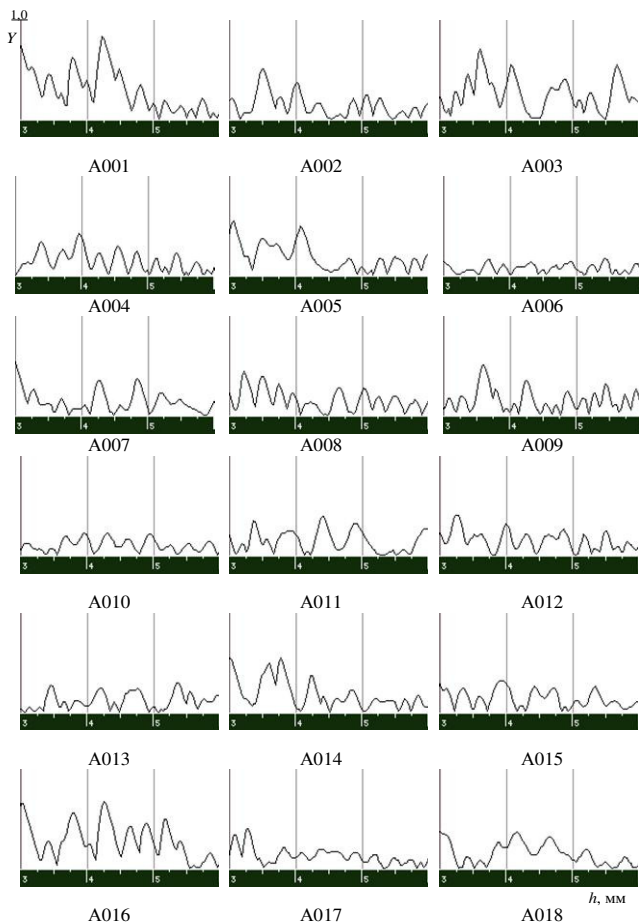


Рисунок 1 – Функции УЗВ отклика ( $Y$ ) по толщине ( $h$ ) стенки трубы (Аххх – нумерация испытанных образцов)

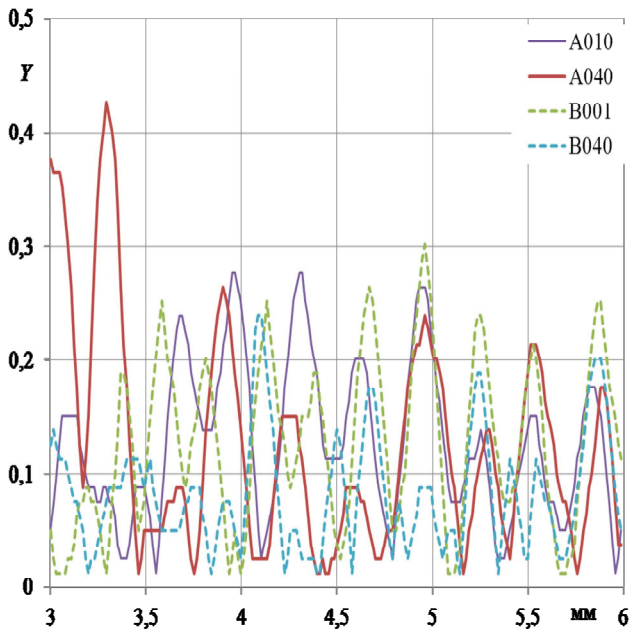


Рисунок 2 – Функции УЗВ отклика ( $Y$ ) по толщине ( $h$ ) стенки трубы

Будем рассматривать функции отклика (см. рисунки 1 и 2) как случайные реализации УЗВ-испытаний. Тогда нетрудно вычислить средние значения, СКО и дисперсии для сварных соединений и основного металла (рисунки 3–8). Все количественные параметры сведены в таблицу 2.

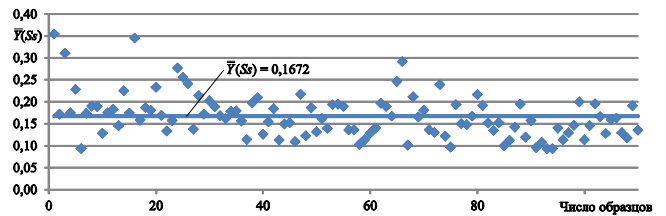


Рисунок 3 – Средние арифметические значения  $\bar{Y}(S_s)$  образцов со сварным соединением ( $n = 110$ )

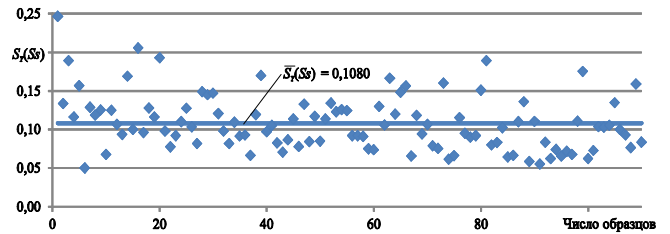


Рисунок 4 – Стандартные отклонения  $S_y(S_s)$  для образцов со сварным соединением ( $n = 110$ )

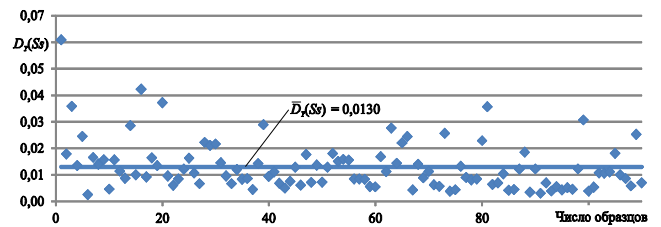


Рисунок 5 – Дисперсия  $D_y(S_s)$  для образцов со сварным соединением ( $n = 110$ )

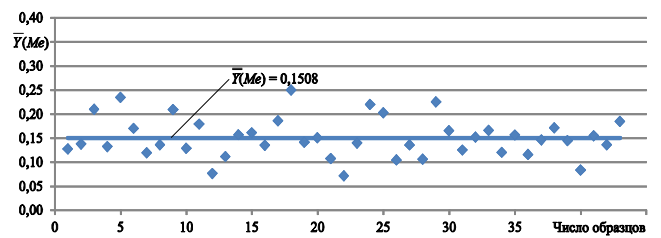


Рисунок 6 – Средние арифметические значения  $\bar{Y}(Me)$  для образцов из основного металла ( $n = 43$ )

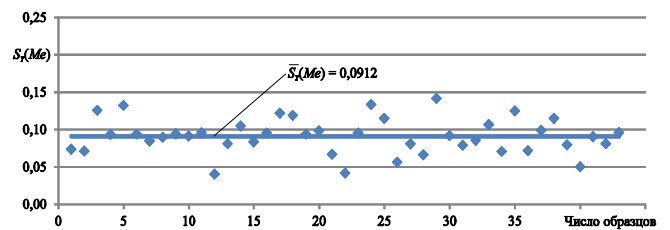


Рисунок 7 – Стандартные отклонения  $S_y(Me)$  для образцов из основного металла ( $n = 43$ )

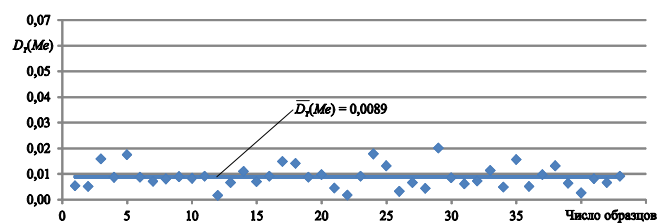


Рисунок 8 – Дисперсия  $D_y(Me)$  для образцов из основного металла ( $n = 43$ )

Таблица 2 – Параметры функции отклика

Тип образца	$Y, \text{min} \dots \text{max}$	$\bar{Y}$	$\bar{S}_Y$	$\bar{D}_Y$
Сварное соединение без надреза	0,0126–0,9930	0,1672	0,1080	0,0130
Основной металл без надреза	0,0126–0,6787	0,1508	0,0912	0,0089

Из таблицы 2 можно сделать следующие выводы: максимальные значения УЗВ отклика для сварного соединения и основного металла существенно отличаются (~32 %). Это свидетельствует о существовании несплошностей (дефектов) металла в сварном шве. То же самое

можно сказать и об остальных параметрах: СКО – ~10 %, стандартное отклонение – ~16 %; дисперсия – ~32 %.

Статистический анализ графиков УЗВ отклика для всех велся по нормальному распределению. Построены гистограммы и плотности нормального распределения параметра УЗВ отклика (рисунок 9).

Построены зависимости функции УЗВ отклика от риска (рисунки 10 и 11). С ростом величины функции УЗВ отклика растет и риск. Но зависимость не линейная, при  $KC_{\text{norm}} = 10 \text{ Дж/см}^2$  рост риска заметно выше, чем при  $KC_{\text{norm}} = 7 \text{ Дж/см}^2$ .

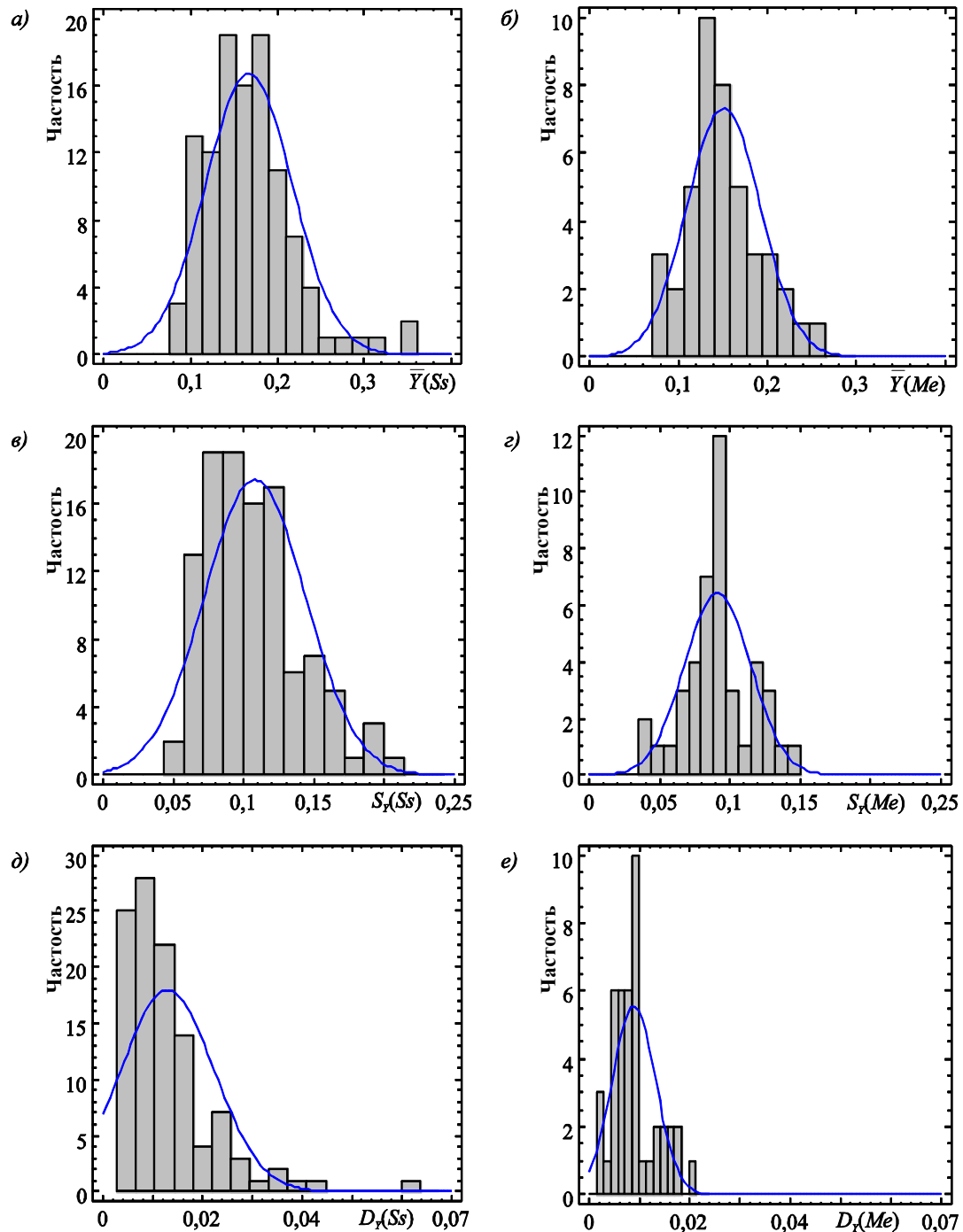


Рисунок 9 – Гистограммы и плотности нормального распределения параметров функции отклика (а, б – средние арифметические; в, з – стандартные отклонения; д, е – дисперсия) сварных соединений (а, в, д) и основного металла (б, з, е)

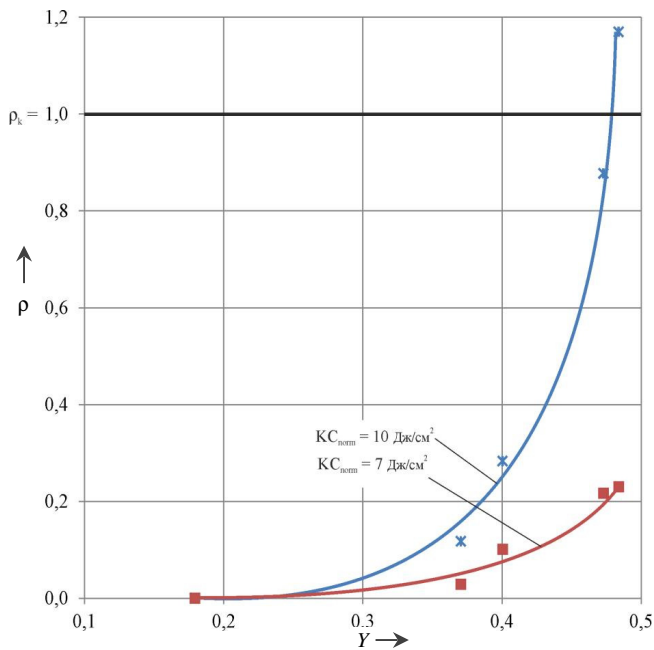


Рисунок 10 – Зависимость функции УЗВ отклика от риска для схемы испытаний  $KS_2$

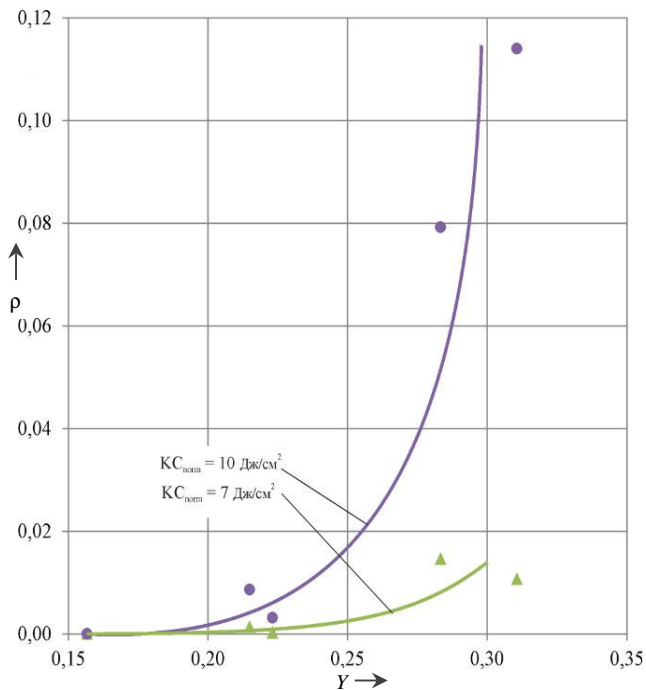


Рисунок 11 – Зависимость функции УЗВ отклика от риска для схемы испытаний  $KS_1$

Получено 11.05.2016

**L. A. Sosnovskiy, A. N. Kozik, S. V. Tokar, V. V. Vorobyov, Y. A. Sihai, A. A. Prokhorenko.** Relationship of dynamic strength data ultrasonic testing of welded joints.

Posed and solved the problem of finding (based on experiments) correlation between toughness  $KC$  to  $Y$  response function of ultrasonic flaw detector and the risk of exploitation  $\rho$  welded joints.

**Заключение.** Впервые традиционные и стандартные показание УЗВ дефектоскопа, описываемые простейшим заключением *да – нет* (т.е. *годен – не годен*), предложено представлять в виде функции  $Y$  отклика УЗВ дефектоскопа. Эта функция численно определяется колебаниями показаний датчика в связи со случайным многообразием структуры металла шва, обусловленными физическими и технологическими дефектами любой природы. Разработана методика и программа расчетной оценки среднего значения  $\bar{Y}$  и среднеквадратического отклонения СКО ( $Y$ ) случайных величин отклика  $Y$  в предположении, что вероятность распределения  $P(Y)$  значений  $Y$  подчиняется нормальному закону. Это предположение в первом приближении подтверждено по соответствующим статистическим критериям. Таким образом, информативность показаний УЗВ дефектоскопа возрастает многократно.

Впервые экспериментально установлена взаимосвязь показаний стандартного УЗВ дефектоскопа (функции отклика  $Y$ ) с риском эксплуатации сварных соединений  $\rho(KC_{ss})$  для соответствующего уровня ударной вязкости  $KC$ . Основная закономерность такова: с ростом величины функции отклика  $Y$  растет и риск  $\rho$  эксплуатации сварных соединений, а ударная вязкость  $KC$ , напротив, снижается. При этом уровень риска в значительной мере зависит от нормированного значения  $KC_{norm}$ .

#### Список литературы

- 1 **Степнов, М. Н.** Статистическая обработка результатов механических испытаний / М. Н. Степнов. – М. : Машиностроение, 1972. – 232 с.
- 2 **Степнов, М. Н.** Статистические методы обработки результатов статистических испытаний : справ. / М. Н. Степнов. – М. : Машиностроение, 1985. – 231 с.
- 3 Сопротивление материалов деформированию и разрушению : справ. пособ. : в 2 ч. / В. Т. Трошенко [и др.]; под ред. В. Т. Трошенко. – Киев : Наукова думка, 1993. – Ч. 1. – 288 с.; Ч. 2. – 701 с.
- 4 **Сосновский, Л. А.** Рассеяние свойств. Сопротивление материалов деформированию и разрушению : под общ. ред. В. Т. Трошенко. В 2 ч. Ч. 2 / Л. А. Сосновский. – Киев : Наукова думка, 1994. – С. 3–96.
- 5 **Сосновский, Л. А.** L-Риск (механотермодинамика необратимых повреждений) / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 317 с.
- 6 Надежность. Риск. Качество : [моногр.] / Л. А. Сосновский [и др.]; науч. ред. Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 358 с.