

МРНТИ 60.01.77

Ж.У. Сугиров<sup>1</sup> – основной автор, ©  
С.М. Оспанова<sup>2</sup>, М.К. Суйменова<sup>3</sup>, К.М. Шайхиева<sup>3</sup>,  
Л.Б. Есеева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, профессор, <sup>2</sup>Д-р PhD, ст. преподаватель,<sup>3</sup>Ст. преподаватель

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8109-1658>

Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова



г. Актау, Казахстан

<sup>1</sup>[sugirov-56@mail.ru](mailto:sugirov-56@mail.ru)<https://doi.org/10.55956/STOY9080>

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СО СТЕРЖНЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

**Аннотация.** Рассмотрено получение экспериментальной зависимости между сварочным током и прочностью сварного соединения. Качество сварки оценивалось диаметром ядра или величиной механического испытания сварного соединения (на отрыв). Диаметр ядра являлся прямым критерием оценки качества. Для выявления количественной прочности сварного соединения между значениями сварочного тока и выходным параметром использовался метод математической статистики корреляционного и регрессивного анализа. Корреляционный анализ позволил оценить тесноту связи среди исследуемых параметров, и с помощью регрессионного анализа установлен вид связи между ними. Измерением в процессе сварки значения сварочного тока, по полученному уравнению определена прочность сварного соединения. В случае отличия коэффициента от нуля, оно характеризовало наличие и силу стохастической связи.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, металлоконструкция, стержневые элементы, сварка, прочность, коэффициент корреляции.



Сугиров, Ж.У. Разработка математической модели изготовления металлоконструкций со стержневыми элементами [Текст] / Ж.У. Сугиров, С.М. Оспанова, М.К. Суйменова, К.М. Шайхиева, Л.Б. Есеева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2021. – №4(74). – С.34-39. <https://doi.org/10.55956/STOY9080>

**Введение.** В железобетонных конструкциях арматура служит для восприятия на себя растягивающих усилий, а также воспринимает усилия бетона у сжатых зон строительных конструкций. В железобетонных конструкциях, монтажную и рабочую арматуру соединяют в арматурные сварные сетки, которые обычно размещают в соответствии с их работой под нагрузкой.

Диаметр и их соотношения у свариваемых стержней влияют на качество точечной электросварки, которые должны быть не менее 0,3 [1].

В случае контактной сварки формирование соединений проходит в три этапа: вначале этап будет начинаться с момента подачи тока и будет

характеризоваться возникновением электрического контакта, с последующим нагреванием и расширением металла, приводящую к увеличению зазоров и вытеснению под действиями сварочных усилий металла в зазорах и возникновению уплотняющего ядра пояска [2].

При испытаниях основные факторы идентичны для всех величин, но случайные факторы для соответствующих величин могут различаться. Поэтому зависимости можно определить только лишь методами математической статистики. В мат.анализе зависимости между двумя величинами отображается функцией  $y = f(x)$ . Такую зависимость называют функциональной. Также между случайными величинами может быть лишь связи особого рода, где изменение одной из величин меняет распределение другой – такую связь называют стохастической.

Существуют, однако, такие случайные величины, для которых коэффициент корреляции является достаточным и полным показателем зависимости.

**Условия и методы исследований.** Рассмотрим случай получения экспериментальной зависимости между сварочным током и прочности сварного соединения. Качество сварки оценивается диаметром ядра или величиной испытания механического испытания сварного соединения (на отрыв). Диаметр ядра является прямым критерием оценки качества. Испытание на отрыв является косвенным показателем.

Точечная электрическая контактная сварка – это один из способов контактной сварки, в котором свариваемые детали 1, сжимают электродами 2 и 3 сварным усилием  $F_{CB}$ , потом от источника питания ИП проводят импульс сварочного тока  $I_{CB}$  продолжительностью  $t_{CB}$ , и в последующем сваривают их по отдельным участкам касания, которые называют сварными точками (рис.1).

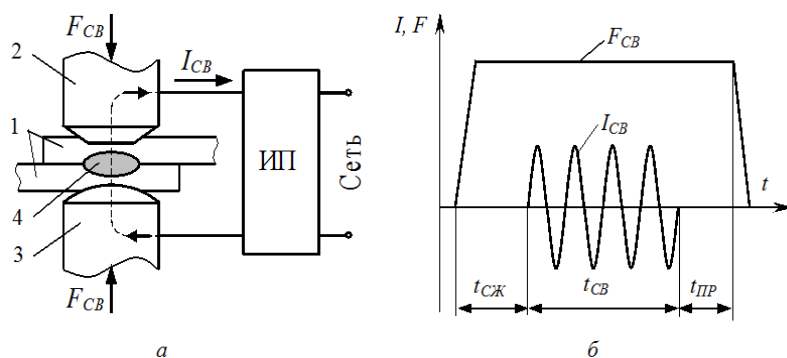


Рис.1. Двусторонняя контактная точечная сварка (а) и элементарный цикл изменений параметров режима (б) точечная

Для выявления количественной и корреляционной связи между значениями сварочного тока и выходным параметром прочности сварного соединения использовался метод математической статистики корреляционного и регрессивного анализа. В этом случае корреляционный анализ дает возможность оценить тесноту связи, а с помощью регрессионного анализа можно устанавливать вид связи между ними.

Существуют разные методы моделирования процесса сварки, в том числе в работе нами рассматривается экспериментально статическое,

математическое моделирование. Математическая модель, в общем, является методом оценки количественной связи между выходными параметрами процесса и параметрами процесса сварки.

В процессе сварки действует примерно до 40 факторов на величину выходного параметра сварного соединения, то есть на качество сварки. Поэтому наиболее практичным подходом является следующий: определить из этих 40 параметров процесса наиболее информативные параметры оценивающие выходные параметры сварного соединения и установление связи между ними.

Определение функциональной связи между этими параметрами, оценивают коэффициентом корреляции. Коэффициенты корреляции - это показатели того, насколько связь между случайными величинами близка к строгой линейной зависимости. Если коэффициент ближе к 1, то коэффициент корреляционной связи высокое, в случае равнозначности к 1, то имеет место функциональная связь [3].

**Результаты исследований.** Для проведения корреляционного анализа, а также получения зависимости между величиной сварочного тока и прочностью сварного соединения, была сварена партия образца. Результаты измерения и необходимые данные для расчета коэффициентов регрессии и корреляции приведены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные и результаты определения  
коэффициента корреляционной связи

Номер опыта	$X_i$	$Y_i$	$X_i^2$	$Y_i^2$	$X_i Y_i$
1	1,5	13,11	2,25	171,8721	19,665
2	1,43	13,93	2,0449	194,0499	19,9199
3	1,45	11,47	2,1025	131,5609	16,6315
4	1,45	13,93	2,1025	194,0449	20,1985
5	1,45	14,77	2,1025	218,1529	21,4165
6	1,45	11,47	2,1025	131,5609	21,4165
7	1,73	28,69	2,9929	823,1161	49,6337
8	1,65	25,41	2,7225	645,6681	41,9265
9	1,65	27,05	2,7225	731,7025	44,6325
10	1,65	26,23	2,7225	688,0129	43,2795
11	1,73	26,23	2,9929	688,0129	45,3779
12	1,73	24,59	2,9929	604,6681	42,5407
13	1,83	30,33	3,3489	919,9089	55,5039
14	1,75	31,15	3,0625	970,3225	54,5125
15	1,73	31,15	2,9929	970,3225	54,5125
16	1,75	31,15	3,0625	970,3225	54,5125
17	1,75	30,33	3,0625	919,9089	53,0775
18	1,83	30,33	3,3484	919,9089	55,5039
$\Sigma$	29,51	421,32	48,7283	10893,1114	714,2615

Анализ эмпирического уравнения (рис. 2) показывает, что зависимость между исследуемыми параметрами можно описать линейным уравнением первого порядка:

$$a = \alpha + \beta \Delta_2$$

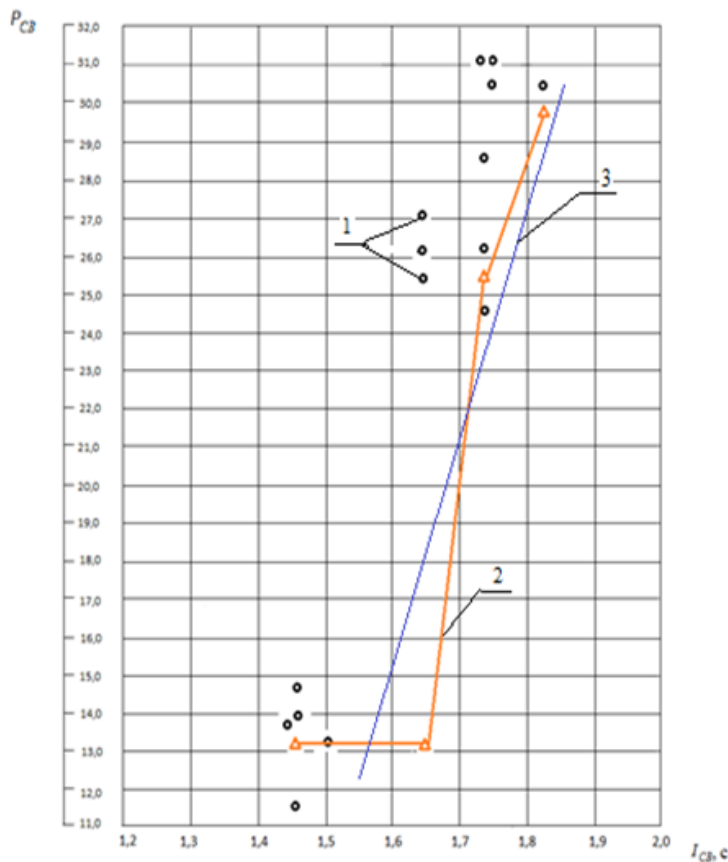
Коэффициент уравнения

$$\beta = \frac{M \sum_{i=1}^{15} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{15} X_i \sum_{i=1}^{15} Y_i}{M \sum_{i=1}^{15} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{15} X_i)^2} = \frac{18 \cdot 714,2615 - 29,51 \cdot 421,32}{18 \cdot 10893,1114 - (29,51)^2} = 0,00217$$

Коэффициент парной корреляции

$$r = \beta \sqrt{\frac{M \sum_{i=1}^{15} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{15} X_i)^2}{M \sum_{i=1}^{15} Y_i^2 - (\sum_{i=1}^{15} Y_i)^2}} = 0,00217 \cdot \sqrt{\frac{18 \cdot 48,7283 - (29,51)^2}{18 \cdot 10893,1114 - (421,32)^2}} = 0,0184$$

где:  $M$ - число опытов;  $X$ - значения электрического сварочного тока ( $I_{св}$ );  $Y$ - прочность сварного соединения ( $P$ ).



1- поле распределения; 2- эмпирическая зависимость; 3- теоритическая зависимость.

Рис. 2. Зависимости прочности сварного соединения от сварочного тока

**Обсуждение научных результатов.** Критическое значение коэффициента корреляции для рассматриваемого случая при уровне значимости 0,05 составляет 0,482, поэтому есть основание утверждать о высокой корреляционной связи между исследуемыми параметрами.

Свободный член уравнения регрессии

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{15} Y_i - \beta \cdot \sum_{i=1}^{15} X_i}{M} = \frac{421,32 - 0,00217 \cdot 29,51}{18} = 23,403$$

Зависимость между величиной сварочного тока и прочности сварного соединения имеет вид:

$$P = \alpha + \beta I_{св}$$

Измеряя в процессе сварки значения сварочного тока, по полученному уравнению можно определить прочность сварного соединения [4].

**Заключение.** В случае отличия коэффициента корреляции от нуля, это будет характеризовать не только наличие, но и имеющую силу стохастической зависимости между  $\zeta$  и  $\eta$ . Чем больше значение абсолютной величины  $\rho$ , тем будет сильнее корреляция между  $\zeta$  и  $\eta$ . Максимальная корреляция будет соответствовать значениям  $\rho = \pm 1$ . Это будет возможным только в случаях, когда  $\zeta_0 = \pm \eta_0$ , а также в случае когда между параметрами  $\zeta_0$  и  $\eta_0$ , (соответственно, и между  $\zeta$  и  $\eta$ ) имеется строгая функциональная связь [4].

#### Список литературы

1. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции [Текст] / В.Н.Байков, Э.Е.Сигалов. – М.: Стройиздат, 1984. – 247 с.
2. Банов, М.Д. Технология и оборудование контактной сварки [Текст] / М.Д. Банов. – М.: Академия, 2008. – 164 с.
3. Орлов, Б.Р. Технология и оборудование контактной сварки [Текст] /Под.ред. Б.Р.Орлова. – М.: Машиностроение, 1975. – 121 с.
4. Пустыльник, Е.И. Статические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Е.И.Пустыльник. – М.: Наука, 1965. – 110 с.

Материал поступил в редакцию 13.12.21.

**Ж.У. Сугиров, С.М. Оспанова, М.К. Сүйменова, К.М. Шайхиева, Л.Б.Есеева**

*Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті  
Ақтау қаласы, Қазақстан*

#### ӨЗЕКТІ ЭЛЕМЕНТТЕРІ БАР МЕТАЛЛ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН ЖАСАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ӨЗІРЛЕУ

**Аңдатпа.** Жұмыста дәнекерлеу тогы мен дәнекерленген қосылыстың беріктігі арасындағы эксперименттік байланысты алу қарастырылады. Дәнекерлеу сапасы ядро диаметрімен немесе дәнекерленген қосылысты механикалық сынау шамасымен (үзілуге) бағаланды. Ядро диаметрі сапаны бағалаудың тікелей өлшемі ретінде алынды. Дәнекерлеу тогының мәндері мен шығу параметрі арасындағы дәнекерленген қосылыстың сандық беріктігін анықтау үшін корреляциялық және регрессивті талдаудың математикалық статистика әдісі қолданылды. Корреляциялық талдау зерттелген параметрлер арасындағы байланыстың тығыздығын бағалауға мүмкіндік берді және регрессиялық талдау көмегімен олардың арасындағы байланыс түрі орнатылды. Дәнекерлеу үрдісінде дәнекерлеу тогының мәнін өлшеу арқылы алынған теңдеу дәнекерленген қосылыстың беріктігін анықтайды. Егер коэффициент нөлден өзгеше болса, онда ол стохастикалық байланыстың болуы мен күшін сипаттайды.

**Тірек сөздер:** математикалық модельдеу, металлконструкция, арқалық, өзектік элементтер, дәнекерлеу, беріктік, корреляция коэффициенті.

**Zh.U. Sugirov, S.M. Ospanova, M.K. Suymenova, K.M. Shaikhieva, I.B. Eseeva**

*Caspian University of technology and engineering named after Sh. Yessenov,  
Aktau, Kazakhstan*

#### **DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF MANUFACTURING METAL STRUCTURES WITH ROD ELEMENTS**

**Abstract.** Obtaining an experimental relationship between the welding current and the strength of the welded joint is considered. The quality of welding was assessed by the diameter of the core or the value of the mechanical test of the welded joint (for pull-off). The core diameter was a direct quality assessment criterion. To determine the quantitative strength of the welded joint between the values of the welding current and the output parameter, the method of mathematical statistics of correlation and regression analysis was used. Correlation analysis made it possible to assess the closeness of the relationship among the parameters under study, and with the help of regression analysis, the type of relationship between them was established. By measuring the value of the welding current during welding, the strength of the welded joint was determined using the obtained equation. If the coefficient differs from zero, it characterizes the presence and strength of the stochastic connection.

**Keywords:** mathematical modeling, metal structures, rod elements, welding, strength, correlation coefficient.

#### **References**

1. Baikov V.N., Sigalov E.E. Zhelezobetonnye konstrukcii [Reinforced concrete structures]. - Moscow: Stroyizdat, 1984.- 247 p. [in Russian].
2. Banov M.D. Tehnologija i oborudovanie kontaktnoj svarki [Contact welding technology and equipment]. - Moscow: Academy, 2008.- 164 p. [in Russian].
3. Orlov B.R. Tehnologija i oborudovanie kontaktnoj svarki [Contact welding technology and equipment]. - Moscow: Mashinostroenie, 1975.- 121 p. [in Russian].
4. Pustynnik E.I. Sticheskie metody analiza i obrabotki nabljudenij [Static methods of analysis and processing of observations]. - Moscow: Nauka, 1965.- 110 p. [in Russian].