

**Редакционная коллегия**

Е.В. Протопопов  
(отв. редактор)  
М.В. Темлянецв  
(зам. отв. редактора)  
К.Г. Громов  
В.Г. Лукьянов  
В.Н. Нестеров  
В.М. Самаров  
П.С. Чубик  
С.М. Простов

Печатается по решению  
Президиума  
Западно–Сибирского  
отделения Российской  
академии  
естественных наук

© Российская академия  
естественных наук,  
Западно–Сибирское  
отделение, 2017

© Издательский центр  
Сибирского  
государственного  
индустриального  
университета

Адрес редакции: 654007  
г. Новокузнецк, ул.  
Кирова, 42,  
Сибирский  
государственный  
индустриальный  
университет  
тел. 8–3843–78–44–55  
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)  
ISSN 2311–9519

**Содержание**

<b>РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА</b> .....	3
<i>В.И. Исаев, А.К. Исагалиева, Г.А. Лобова</i>	
Геологическое приложение геотермии как метода разведочной геофизики (на примере оценки позднеэоценовой эрозии на площадях п-ова Ямал).....	3
<i>В.И. Исаев, В.В. Стоцкий, Ж.Б. Досымбекова</i>	
Геотемпературные условия генерации баженовских нефтей в Колтогорском мезопрогибе.....	9
<i>С.И. Панычев, В.Г. Лукьянов</i>	
Основные направления развития нефтегазодобывающей промышленности Томской области.....	15
<i>И.Г. Яценко</i>	
Физико-химические свойства сернистой нефти.....	26
<i>И.Г. Яценко, Ю.М. Полищук</i>	
Особенности трудноизвлекаемых нефтей высокого качества в криолитозоне Западной Сибири.....	41
<b>ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГЕОМЕХАНИКА</b> .....	52
<i>В.И. Исаев, А.Ж. Байкенжина</i>	
Геологические факторы выбросоопасности угольных пластов Карагандинского бассейна и возможности их геолого-геофизического прогноза.....	52
<i>М.С. Паровинчак, В.Г. Лукьянов, О.М. Гринев, В.Н. Ростовцев</i>	
Освоение Бакчарского железорудного месторождения в Томской области – главный проект стратегии развития Сибири на ближайшие десятилетия.....	57
<i>С.Н. Харламов, С.И. Сильвестров, В.В. Зайковский, Е.В. Николаев</i>	
О проблемах математического моделирования процессов переноса импульса, тепла и массы в углеводородных вязких средах в условиях сложного движения и тепломассопереноса в трубопроводах.....	67
<b>МЕТАЛЛУРГИЯ</b> .....	90
<i>С.Н. Кузнецов, Е.В. Протопопов, М.В. Темлянецв, С.В. Фейлер</i>	
Исследование потерь тепла через футеровку конвертера с применением математической модели.....	90
<i>С.Н. Кузнецов, Е.В. Протопопов, М.В. Темлянецв, С.В. Фейлер, Л.А.Ганзер, А.Н. Калиногорский</i>	
Современные технологии выплавки стали с использованием железосодержащих продуктов переработки конвертерных шлаков.....	95
<i>Р.А. Шевченко, С.Н. Кратько, П.Е. Шишкин, Н.А. Козырев, В.И. Базайкин</i>	
Оптимизация технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1000 методами математического моделирования.....	101
<i>Р.А. Шевченко, В.И. Базайкин, С.Н. Кратько, Н.А. Козырев, П.Е. Шишкин</i>	
Исследование токового режима сварочной машины К1000 при сварке рельсов.....	106
<i>С.В. Князев, Д.В. Скопич, Е.А. Фатьянова, А.А. Усольцев, А.И.Куценко</i>	
Ключевые показатели качества литой стали.....	111
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев, С.Н. Кратько, Р.Е. Крюков</i>	
Определение оптимальных режимов работы рельсосварочной машины К1000.....	118
<b>АГРОТЕХНОЛОГИИ</b> .....	127
<i>В.И. Мяленко</i>	
Резервы повышения производительности сельскохозяйственных орудий.....	127

<i>В.И. Мясенко</i>	
Метод определения реакций в опорах многоопорных конструкций.....	131
<i>Л.Я. Макаренко, Н.В. Берестова</i>	
Комплексное изучение различных пород кроликов при акселерационном способе содержания для использования на продовольственные цели Кемеровской области.....	134
<i>Т.А. Атапина, Н.Н. Чуманова, М.Ю. Сергеева</i>	
Влияние гуминатрина на биологические и хозяйственные признаки сортов овса в условиях лесостепи Кемеровской области.....	139
<i>А.П. Гришкова, Н.А. Чалова, А.А. Аришин</i>	
Влияние генотипа терминальных хряков на продуктивность финального гибрида.....	144
<i>В.М. Самаров</i>	
Почвозащитная обработка почвы в Кузнецкой котловине.....	150
<i>С.Н. Рассолов, С.Н. Витязь</i>	
Переваримость питательных веществ ремонтных свинок при использовании иммунонутриентов в их рационе.....	153
<i>С.И. Рудакова</i>	
Биологическая составляющая технологии возделывания гороха и ее экологическая оценка.....	156
<b>БИОМЕДИЦИНА И ЭКОЛОГИЯ</b> .....	161
<i>В.В. Захаренков, И.В. Вибляя</i>	
О внедрении в г. Новокузнецке комплексной муниципальной целевой программы «Образование и здоровье».....	161
<i>В.В. Захаренков, Р.А. Голиков, А.М. Олещенко, Д.В. Суржиков, В.В. Кислицына, Т.Г. Корсакова</i>	
Определение взаимозависимости между содержанием озона в атмосферном воздухе и содержанием ряда загрязняющих примесей.....	164
<i>Ю.А. Григорьев, О.И. Баран</i>	
Опыт многомерного статистического анализа в медико-демографических исследованиях.....	169
<i>Ю.А. Григорьев, О.И. Баран</i>	
Семейная политика и материнский капитал как меры воздействия на рождаемость в России.....	175
<i>Ю.А. Григорьев, О.И. Баран</i>	
Новые меры поддержки семей с детьми на региональном уровне.....	181
<i>А.А. Короткевич, Е.И. Рыбалко, М.Г. Жестикова, В.Е. Хомичева</i>	
Клинико-социальные аспекты реабилитации пациентов с цереброваскулярной болезнью в условиях первичного сосудистого отделения.....	187
<b>ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b> .....	195
<i>Ю.П. Холушкин</i>	
Системная классификация понятия «Дифференцированное цитирование».....	195
<b>ЭКОНОМИКА И СОЦИОЛОГИЯ</b> .....	201
<i>В.А. Эшттейн, А.А. Гаспарян</i>	
15 лет денонсации договора ПРО и современное состояние российско-американского ракетно-ядерного противостояния.....	201
<b>ЮБИЛЕИ</b> .....	210
<b>РЕФЕРАТЫ</b> .....	215

Science and Engineering. – 2016. – Vol. 150. - P. 1-5 (012026). – Библиогр.: р. 5. – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.

17. Prinzie, A., Van den Poel, D. Random Multiclass Classification: Generalizing Random Forests to Random MNL and Random NB, DEXA 2007, Lecture Notes in Computer Science, 4653, 349–358.

18. Nello Cristianini, John Shawe-Taylor. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods. — Cambridge University Press, 2000. — ISBN 978-1-139-64363-4.

19. Golyandina, N., and E. Osipov (2007) "The 'Caterpillar'-SSA method for analysis of time series with missing values", J. Stat. Plan. Inference 137(8), 2642—2653.

20. Golyandina, N. and K. Usevich (2010): "2D-extension of Singular Spectrum Analysis: algorithm and elements of theory". In: Matrix Methods: Theory, Algorithms and Applications (Eds. V.Olshevsky and E.Tyrtysnikov). World Scientific Publishing, 449—473.

21. Князев С.В., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А., Усольцев А.А., Куценко А.И. Ключевые показатели качества стали литых изделий для железнодорожного транспорта. *Известия Высших Учебных Заведений. Черная Металлургия*. 2017;60(2):128-132. DOI:10.17073/0368-0797-2017-2-128-132

УДК 625.143.48

*Р. А. Шевченко<sup>1</sup>, Н. А. Козырев<sup>1</sup>, А. О. Патрушев<sup>1</sup>, С. Н. Кратько<sup>2</sup>,  
Р. Е. Крюков<sup>1</sup>*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕЛЬСОСВАРОЧНОЙ МАШИНЫ К1000**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк

<sup>2</sup>ООО «РСП-М» структурное подразделение рельсосварочное предприятие  
№29 (РСП-29), п.г.т. Промышленный

При создании и ремонте бесстыкового железнодорожного пути существуют различные технологии для сварки рельсов. Одними из наиболее применяемых технологий являются: электроконтактная и алюминотермитная сварка рельсов. В России большое распространение приобрел электроконтактный способ. Основную часть рельсов сваривают на стационарных рельсосварочных предприятиях и небольшую часть стыков путевыми рельсосварочными самоходными машинами [1]. В стационарных условиях на предприятии ООО «РСП-М» (РСП-29) сварку производят с помощью машин МСР 63.01, К1000, К1100.

Описание технологических параметров рельсосварочной машины К1000. Процесс сварки рельсов электроконтактным способом на машине К1000

разделен на несколько этапов: I этап оплавления, II этап оплавления, форсировка, осадка, гратосъем. В свою очередь каждый этап разделен еще на несколько участков: I этап оплавления состоит из 2 участков (в таблице 1 идут под номером 1 и 2), II этап оплавления состоит из 4 участков (в таблице 1 идут под номером 3, 4, 5, 6), форсировка разбивается на 2 участка (в таблице 1 идут под номером 7 и 8). Каждый этап характеризуется режимами сварки: силой тока  $I$ , А; напряжением  $U$ , В; величиной перемещения подвижной станины  $S$ , мм; давлением в системе  $P$ , атм; скоростью перемещения подвижной станины  $V$ , мм/с; длительностью этапа  $T$ , с [2].

Таблица 1 – Задаваемые параметры режима сварки на машине К1000.

Параметры	№ участка							
	1	2						
$U$ , В	$U_1$	$U_2$	3	4	5	6	7	8
$S$ , мм	$S_1$	$S_2$	3	4	5	6	7	8
$I_1$ , А	$I_{11}$	$I_{12}$	13	14	15	16	17	18
$I_2$ , А	$I_{21}$	$I_{22}$	23	24	25	26	27	28
$I_3$ , А	$I_{31}$	$I_{32}$	33	34	35	36	37	38
$V_v$ , В·10	$V_{v1}$	$V_{v2}$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$
$V_n$ , В·10	$V_{n1}$	$V_{n2}$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$	$n_7$	$n_8$
Осадка под током, с	$O_1$							
Осадка, мм·10	$O$							
Проковка, с·10	$Pr$							

Во время работы сварочной машины процесс сварки полнопрофильных рельсов контролировался с записью основных параметров в память компьютера. Данные параметры во время процесса сварки фиксировались и сохранялись в базе данных в табличном виде, и при необходимости их можно представить в графическом виде (рисунок 2).

Описание процесса испытания сварного соединения рельсов. Технология сварки рельсов на РСП включает в себя обязательную сварку контрольных образцов в начале рабочей смены. Свариваются по два образца на каждую сварочную машину, после чего проводят испытание нетермообработанных стыков на трехточечный статический изгиб согласно СТО РЖД 1.08.002-2009 «Рельсы железнодорожные, сваренные электроконтактным способом». Испытания на статический изгиб проводили на прессе типа ПМС-320.

Контрольные образцы испытываются после сварки и удаления грата в сварочной машине без дополнительной обработки стыков. При испытаниях на статический поперечный изгиб контрольный образец должен иметь длину не менее 1200 мм со сварным стыком по середине. Нагрузку прикладывали в середине пролета контрольного образца в месте сварного стыка с расстоянием

между опорами 1 м (рисунок 1).

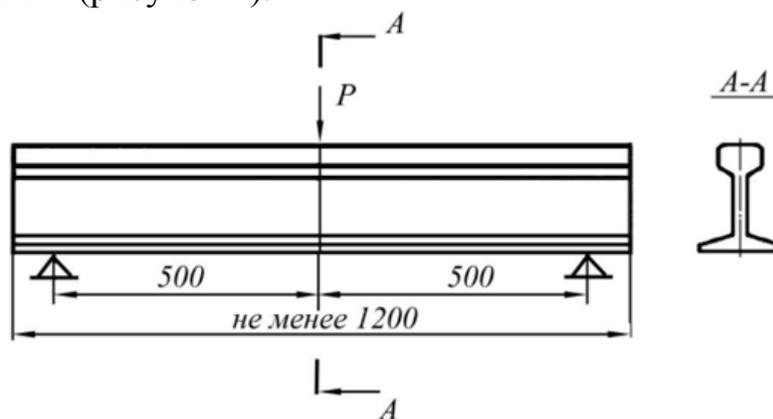


Рисунок –1. Схема испытания на статический поперечный изгиб

Испытание одного контрольного образца производят, с приложением нагрузки на головку (растяжение в подошве), второй контрольный образец нагружают на подошву (растяжение в головке). Результатами испытания являются значения усилия, возникающего при изгибе  $R_{изг}$ , кН и значения стрелы прогиба  $f_{пр}$ , мм при которых происходит разрушение контрольного образца, либо максимальные значения данных показателей, если образец не разрушился во время испытаний. На рисунке 3 представлен пример графика процесса испытания рельсовых стыков. После фактические показатели сравнивают с нормативными. Если образец выдержал нормативные требования, начинается сварка рельсов в плетъ. В случае если образец не выдержал нормативных требований производят повторную сварку. Если же повторные испытания так же имеют неудовлетворительный исход, предпринимаются действия по поиску причин низких показателей и корректировке технологических режимов [3, 4].

Подготовка выборки и построение модели. Для описания процесса контактной сварки рельсов в данной работе применяли метод статистического моделирования. Для его реализации необходимо установление независимых (входных) переменных, а также выявление зависимых (выходных) параметров. Для создания математической модели процесса контактной сварки рельсов использовалась имеющаяся база данных параметров сварочных режимов и результатов испытаний сварных соединений.

В качестве входных переменных были выбраны: среднее значение тока на каждом участке  $I_{ср}$ , А; среднее значение напряжения на каждом участке  $U_{ср}$ , В; длительность осадки под током  $OI$ , с; величина осадки  $O$ , мм; длительность проковки  $Pг$ , с; сопротивление стыка  $R$ , Ом. В качестве выходных параметров были выбраны результаты испытаний на статический поперечный изгиб: усилия, возникающего при изгибе  $R_{изг}$ , кН и значения стрелы прогиба  $f_{пр}$ , мм.

Для каждого участка установлен соответствующий путь  $S$  (мм), при прохождении которого сварочная машина устанавливает значения  $U_1, I_1, I_2, I_3, V_в, V_н$ . Из массива данных (пример представлен в графическом виде на рисунке 2) выбирались значения параметров для каждого участка ( $U_{ji}, I_{ji}$ ) и определялось среднее значения этих параметров ( $U_{jср}, I_{jср}$ ):

$$U_{jcp} = \Sigma U_{ji}/p \quad (1)$$

где  $p$  – количество значений  $U_{ji}$  зафиксированных датчиком на данном участке;  
 $U_{ji}$  – значение напряжения зафиксированное датчиком в момент оплавления на  $j$ -ом участке;

$U_{jcp}$  – среднее значение тока на  $j$ -ом участке.

$$I_{jcp} = \Sigma I_{ji}/p \quad (2)$$

где  $p$  – количество значений  $I_{ji}$  зафиксированных датчиком на данном участке;  
 $I_{ji}$  – значение напряжения зафиксированное датчиком в момент оплавления на  $j$ -ом участке;

$I_{jcp}$  – среднее значение тока на  $j$ -ом участке.

После обработки данных производственного контроля и параметров сварочных режимов были получены данные, которые отражают основные фактические значения сварочных режимов на машине контактной стыковой сварки К1000 и результатов испытаний сварных соединений, состоящие из 60 наблюдений.

На основе полученных производственных данных была проведена их статистическая обработка с использованием пакета STATISTICA 10.0. Оценка влияния параметров сварочных режимов на величину усилия, возникающего при изгибе Ризг (кН) и значение стрелы прогиба  $f_{пр}$  (мм) проводилась средствами множественного регрессионного анализа, который позволяет изучить закономерности изменения результирующего показателя в зависимости от поведения различных факторов [5,6].

Вычисление коэффициентов регрессионных уравнений производили матричным методом с использованием пакета STATISTICA 10.0. Уравнение регрессии представлено в следующем виде:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n \quad (3)$$

где  $Y$ - зависимый (выходной) параметр;

$X_1, X_2, \dots, X_n$  – независимые (входные) переменные;

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ - коэффициенты регрессии.

Полученная модель описывающая процесс сварки рельсов Р65 ДТ350 на машине К1000 № 01 в условиях РСП – М (РСП – 29) имеет вид:

$$\begin{aligned} R_{изг} = & 18441,49 - 2,69 I_{1cp} - 73,72 U_{1cp} - 1,06 I_{2cp} + 9,98 U_{2cp} + 3,98 \\ & I_{3cp} - 11,51 U_{3cp} + 1,64 I_{4cp} + 29,45 U_{4cp} + 1,49 I_{5cp} - 27,48 U_{5cp} + \\ & 19,8 U_{6cp} - 0,54 I_{7cp} + 5,19 U_{7cp} + 593,77 O_I + 8,03 R; R^2 = 0,72. \end{aligned} \quad (4)$$

Определение оптимальных параметров сварки. В ходе работы сварочной машины К1000 №01 значения  $U_{jcp}$  и  $I_{jcp}$  на каждом участке варьируются в пределах, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Интервалы значений основных параметров

Параметр	Знак коэф. регрессии ( $b_i$ )	Минимум	Максимум	Оптимальные параметры
$I_{1cp}, A$	–	423,56	520,24	423,56
$U_{1cp}, B$	–	358,34	362,17	358,34
$I_{2cp}, A$	–	659,36	790,65	659,36
$U_{2cp}, B$	+	335,50	346,32	346,32
$I_{3cp}, A$	+	428,46	499,81	499,81
$U_{3cp}, B$	–	258,10	269,12	258,10
$I_{4cp}, A$	+	420,30	487,92	487,92
$U_{4cp}, B$	+	261,79	267,86	267,86
$I_{5cp}, A$	+	427,07	489,05	489,05
$U_{5cp}, B$	–	260,87	273,58	260,87
$U_{6cp}, B$	+	264,86	276,40	276,40
$I_{7cp}, A$	–	301,45	438,12	301,45
$U_{7cp}, B$	+	363,27	391,89	391,89
$O_I, c$	+	1,10	1,20	1,20
$R, Ом$	+	75,00	84,00	84,00

Обычно оптимизацию проводят по одному более важному выходному параметру, при этом для остальных выходных параметров задают ограничения. Однако если выходные параметры коррелируют, то нет необходимости задавать граничные значения для менее важного параметра. Чем ближе найденное значение коэффициента корреляции к единице, тем сильнее значение одного параметра зависит от того, какое значение принимает другой, т.е. между такими параметрами существует линейная связь, и при изучении процесса можно рассматривать только один из них [7].

Для проверки значимости коэффициента парной корреляции между Ризг и  $f_{пр}$  ( $R$ ) сравним его значение с табличным (критическим) значением ( $гкр$ ), которое приведено в [7]. Критическое значение корреляции выбирается исходя из числа степеней свободы,  $f = n - 2 = 58$  (количество экспериментов  $n = 60$ ), и при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  ( $P = 0,95$ ). В нашем случае  $R = 0,65 > гкр = 0,273$ , таким образом между параметрами имеется тесная линейная связь и оптимизацию можно проводить только по одному параметру.

Прогнозируемая величина стрелы прогиба Ризг полученная по оптимальным значениям равна 3641,029 кН, когда максимальное фактическое значение 2622 кН.

Определение параметров режима сварки на машине К1000. На каждом участке фактическое среднее напряжение  $U_{jcp}$  имеет значение отличающееся заданному  $U_j$ . Для того чтобы определить фактическое напряжение по заданному, был проведен регрессионный анализ. В качестве входной переменной было выбрано фактическое среднее значение  $U_{jcp}$ , в качестве выходной задаваемое напряжение  $U_j$  сварочной машине. В таблице 3 приведены значения, по которым было получено уравнение регрессии для расчета задаваемого напряжения  $U_j$ .

Таблица 3 – Таблица соответствия фактического и задаваемого напряжения.

№ этапа	$U_{\text{иср}}, \text{В}$	$U_j, \text{В}$
1	359,2562	457,624
2	341,6712	737,1644
3	257,4135	441,7236
4	262,6728	446,9853
5	267,3129	475,8528
6	270,8676	465,7647
7	388,9737	311,8158
8	400	335,5714

Полученное уравнение позволяет определять фактическое среднее значение напряжение:

$$U_j = 0,9425 U_{\text{иср}} + 37,321; R2 = 0,95 \quad (5)$$

Для определение фактического значения силы тока на каждом этапе  $I_{\text{иср}}$  была определена зависимость данного параметра от задаваемых параметров  $I_1, I_2, I_3, V_B, V_H$  с помощью регрессионного анализа. В качестве входных переменных были выбраны:  $I_1, I_2, I_3, V_B, V_H$ . В качестве выходной переменной  $I_{\text{иср}}$ . В таблице 4 приведены значения, по которым было получено уравнение регрессии для расчета фактического среднего значения силы тока  $I_{\text{иср}}$ .

Таблица 4 – Значение  $I_{\text{иср}}$  соответствующее параметрам  $I_1, I_2, I_3, V_B, V_H$ .

n	$I_{\text{иср}}, \text{А}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I_3, \text{А}$	$V_B, \text{В} \cdot 100$	$V_H, \text{В} \cdot 100$
1	457,624	110	70	150	250	300
2	737,1644	170	60	250	350	400
3	441,7236	125	45	50	150	200
4	446,9853	125	45	80	180	250
5	475,8528	130	50	100	220	300
6	465,7647	130	50	120	250	320
7	311,8158	130	75	200	350	400
8	335,5714	200	20	250	400	450
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
209	488,1061	110	70	150	250	300
210	679,0417	170	60	250	350	400
211	456,2453	125	45	50	150	200
212	477,686	125	45	80	180	250
213	466,3462	130	50	100	220	300
214	483,0886	130	50	120	250	320
215	392,6596	130	75	200	350	400
216	328,6296	200	20	250	400	450

Для определения значения  $I_{\text{иср}}$  на первом и втором этапе оплавления была построена модель, включающая значения только 6-ти участков:

$$I_{\text{иср}} = 91,66 + 3,44 V_B + 1,56 V_H + 1,65 I_1 - 0,72 I_2 - 0,56 I_3; R2 = 0,95 \quad (6)$$

Для определения значения  $I_{ср}$  на этапе форсировки была построена модель, включающая значения 8-ми участков:

$$I_{ср} = -281,61 + 5,84 V_B + 7,32 V_H + 3,74 I_1 - 7,13 I_2 + 2,76 I_3; R_2 = 0,88 \quad (7)$$

Используя данные уравнения (6, 7, 8) и оптимальные параметры, приведенные в таблице 5 были определены параметры режима сварки на машине К1000 №01.

Таблица 5 – Оптимальные параметры режима сварки на машине К1000.

Параметр	№ участка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
U, В	375	365	277	290	285	300	405	410
S, мм	20	20	20	20	15	10	35	40
I <sub>1</sub> , А	150	200	50	80	100	120	150	250
I <sub>2</sub> , А	250	350	150	180	220	250	340	400
I <sub>3</sub> , А	350	400	200	250	300	320	440	450
V <sub>B</sub> , В·10	110	180	135	130	135	130	125	200
V <sub>H</sub> , В·10	70	60	50	60	60	50	50	20
Осадка под током, с	1,2							
Осадка, мм·10	175							
Проковка, с·10	2							

Производственная апробация режимов сварки. Задав оптимальные параметры режима сварки (таблица 5) на сварочной машине К1000 №01 в условиях РСП–29 провели сварку контрольного образца рельса Р65 ДТ350. Осциллограмма процесса приведена на рисунке 2.

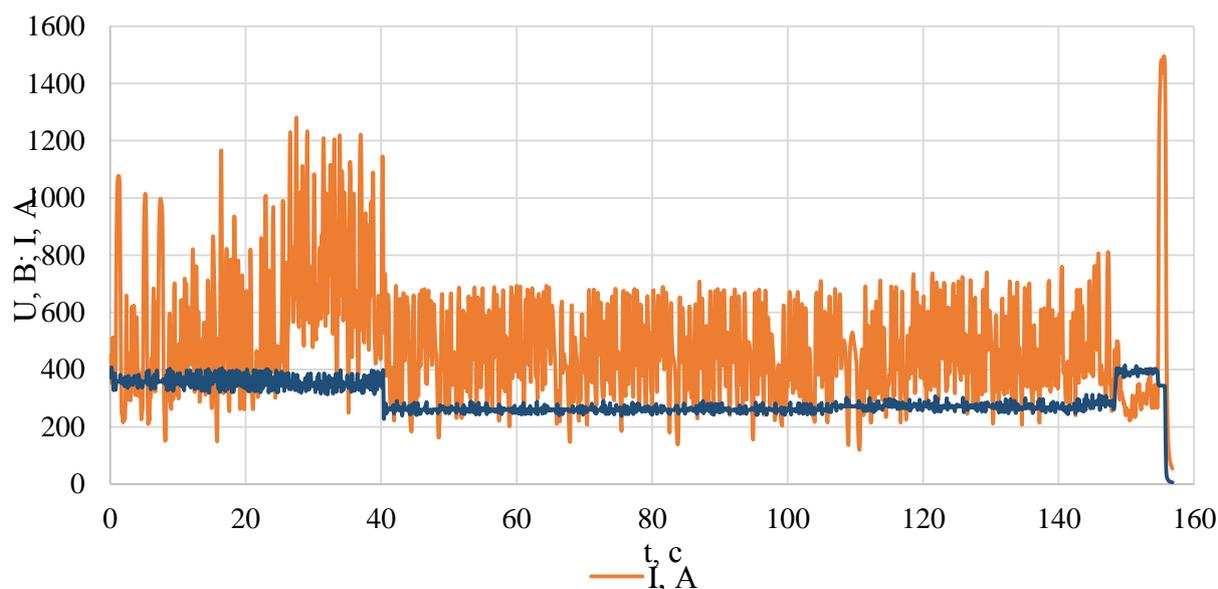


Рисунок – 2. Осциллограммы процесса сварки по заданным режимам

После сварки провели испытание сварного стыка на статический трёхточечный изгиб (рисунок 3): усилие изгиба составило  $R_{изг} = 2388$  кН и  $f_{пр} = 36,6$  мм, что выше нормативных значений (согласно СТО РЖД 1.08.002–2009

$R_{изг} = 2000$  кН и  $f_{пр} = 27$  мм), но ниже моделируемого значения  $R_{изг} = 3641,03$  кН.

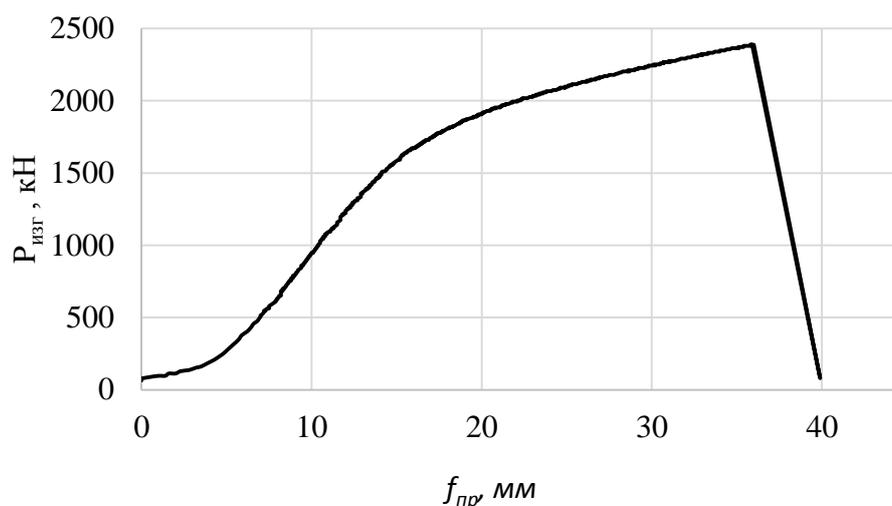


Рисунок – 3. График процесса испытания контрольного образца

Что бы проверить выдержала ли сварочная машина заданные параметры определили значения  $U_{ср}$  и  $I_{ср}$  для процесса сварки контрольного образца (таблица 6).

Таблица 6 – Интервалы значений основных параметров

Параметр	Оптимальные параметры	Фактические значения параметров
$I_{1ср}$ , А	423,56	500,91
$U_{1ср}$ , В	358,34	361,02
$I_{2ср}$ , А	659,36	756,30
$U_{2ср}$ , В	346,32	350,53
$I_{3ср}$ , А	499,81	461,82
$U_{3ср}$ , В	258,10	260,34
$I_{4ср}$ , А	487,92	456,01
$U_{4ср}$ , В	267,86	272,64
$I_{5ср}$ , А	489,05	451,17
$U_{5ср}$ , В	260,87	267,96
$U_{6ср}$ , В	276,40	285,13
$I_{7ср}$ , А	301,45	307,68
$U_{7ср}$ , В	391,89	391,13
$O_I$ , с	1,20	1,20
$R$ , Ом	84,00	80,00
Моделируемое значение $P_{изг}$ , кН	3641,03	2972,60
Фактическое значение $P_{изг}$ , кН		2388,00

Таким образом фактические значения параметров по напряжению  $U_{ср}$  соответствуют оптимальным, а по силе тока  $I_{ср}$  не соответствуют, что является одной из причин снижения  $R_{изг}$ .

## Выводы

1. На основании экспериментальных данных разработана математическая модель процесса контактной сварки рельсов на машине К1000, которая позволяет оценить полноту влияния параметров технологического процесса контактной сварки рельсов на качество сварного шва.

2. На основании полученной математической модели предложены оптимальные параметры сварки на машине К1000.

3. Проведена апробация полученных оптимальных параметров в заводских условиях. По результатам испытаний образца, сваренного по предложенным оптимальным параметрам были получены результаты превышающие нормативные требования СТО РЖД 1.08.002–2009, но ниже значений, полученных по математической модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев Н. А. Современные методы получения бесстыковых рельсов / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, Р. А. Шевченко, П. Е. Шишкин // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов Международной научно-практической конференции 18-21 апреля 2017 года / под ред. А. Н. Смирнова. – Кемерово: КузГТУ, 2017. с 123 - 127.

2. Шевченко Р.А. Статистическая модель управления процессами контактной сварки рельсов / Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, А.О. Патрушев, П.Е. Шишкин // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). – с. 4 - 8

3. Шевченко Р.А Оптимизация технологических параметров процесса контактной стыковой сварки рельсов / Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, Л.П. Бащенко, С.В. Князев // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). – с. 12 – 15.

4. Шевченко Р.А. Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов / Р.А. Шевченко, П. Е. Шишкин, А. О. Патрушев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып.21– ч.II – Новокузнецк: СибГИУ, 2017. – С. 229-232.

5. Анализ данных в материаловедении. Ч. 2. Регрессионный анализ: учеб. пособие / А. С. Мельниченко. – М.: Изд-во Дом МИСиС, 2014. – 87 с.

6. Практикум по теории статистики: Учеб. пособие / Р. А. Шмойлова и [др]; под ред. Р. А. Шмойловой. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.; Финансы и статистические, 2006. – 416 с.

7. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер [и др.] / Академия наук СССР – Москва: Изд-во «Наука», 1976. – 280с.