

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра системного программирования

Разработка системы для сбора, хранения и анализа данных электродуговой сварки промышленных труб

Рецензент:
Ведущий эксперт центра
компетенций математического
моделирования и анализа данных
DS&Computer Vision
А.А. Лымарь

Автор:
студент группы КЭ-220
В.А. Полонский

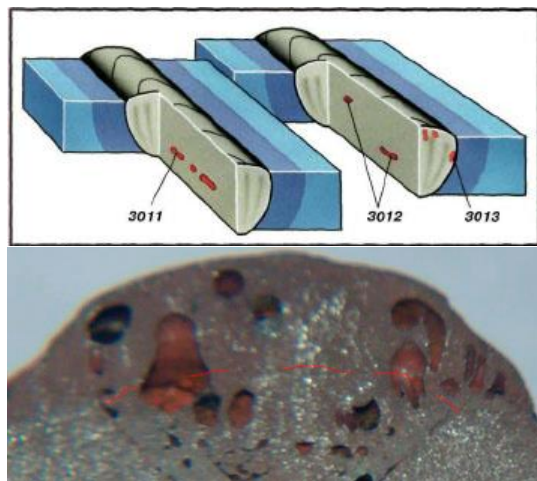
Научный руководитель:
профессор кафедры СП, д.ф.-м.н.
М.Л. Цымблер

Челябинск, 2022 г.

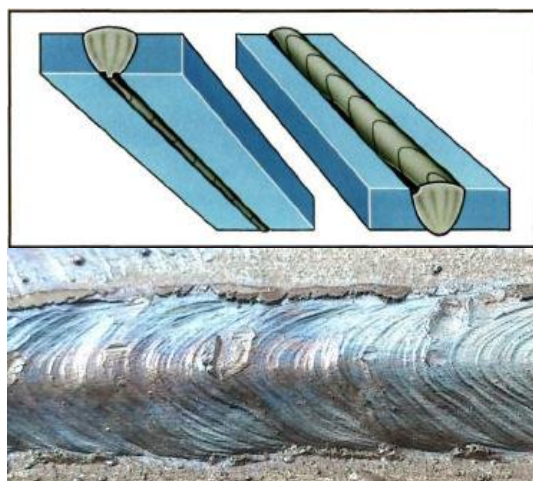
Изготовление промышленных труб



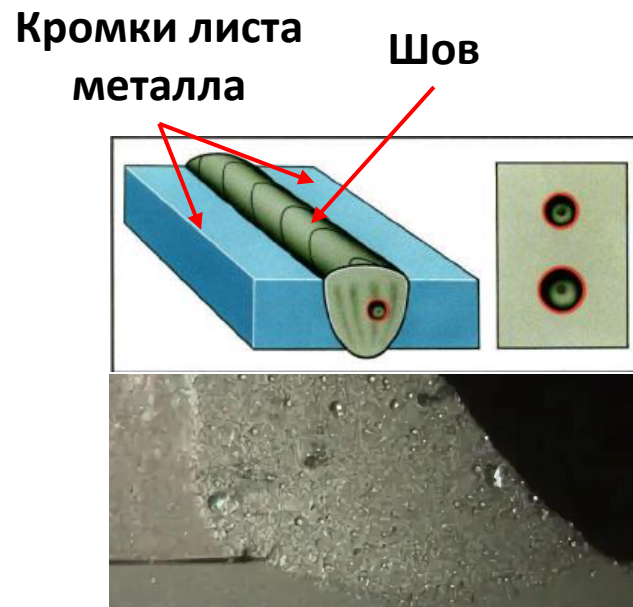
Дефекты сварного шва



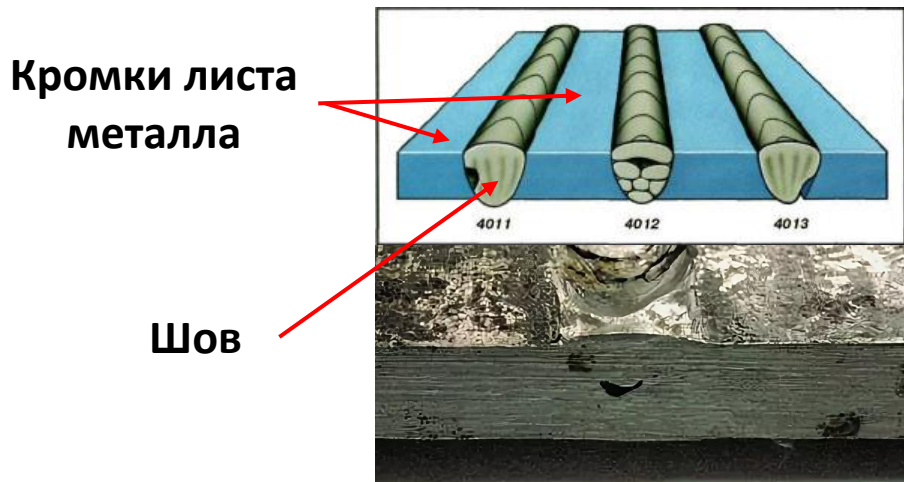
Шлаковые включения



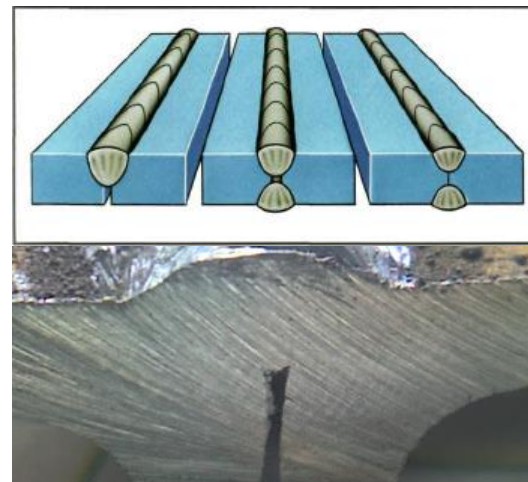
Подрезы



Поры

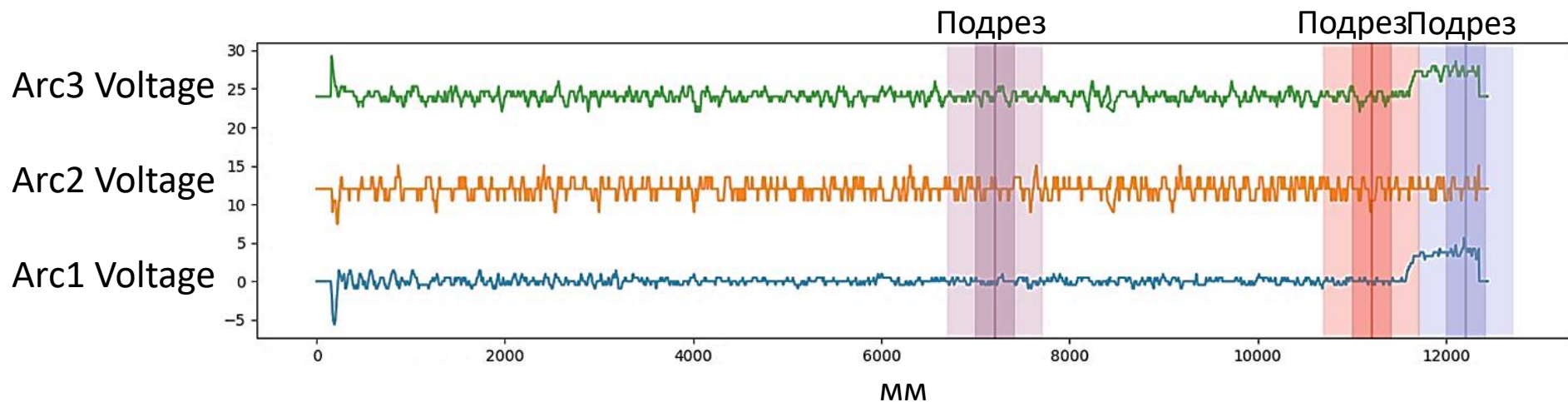
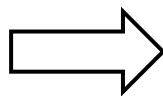


Несплавление



Непровар

Датчики сварочной установки



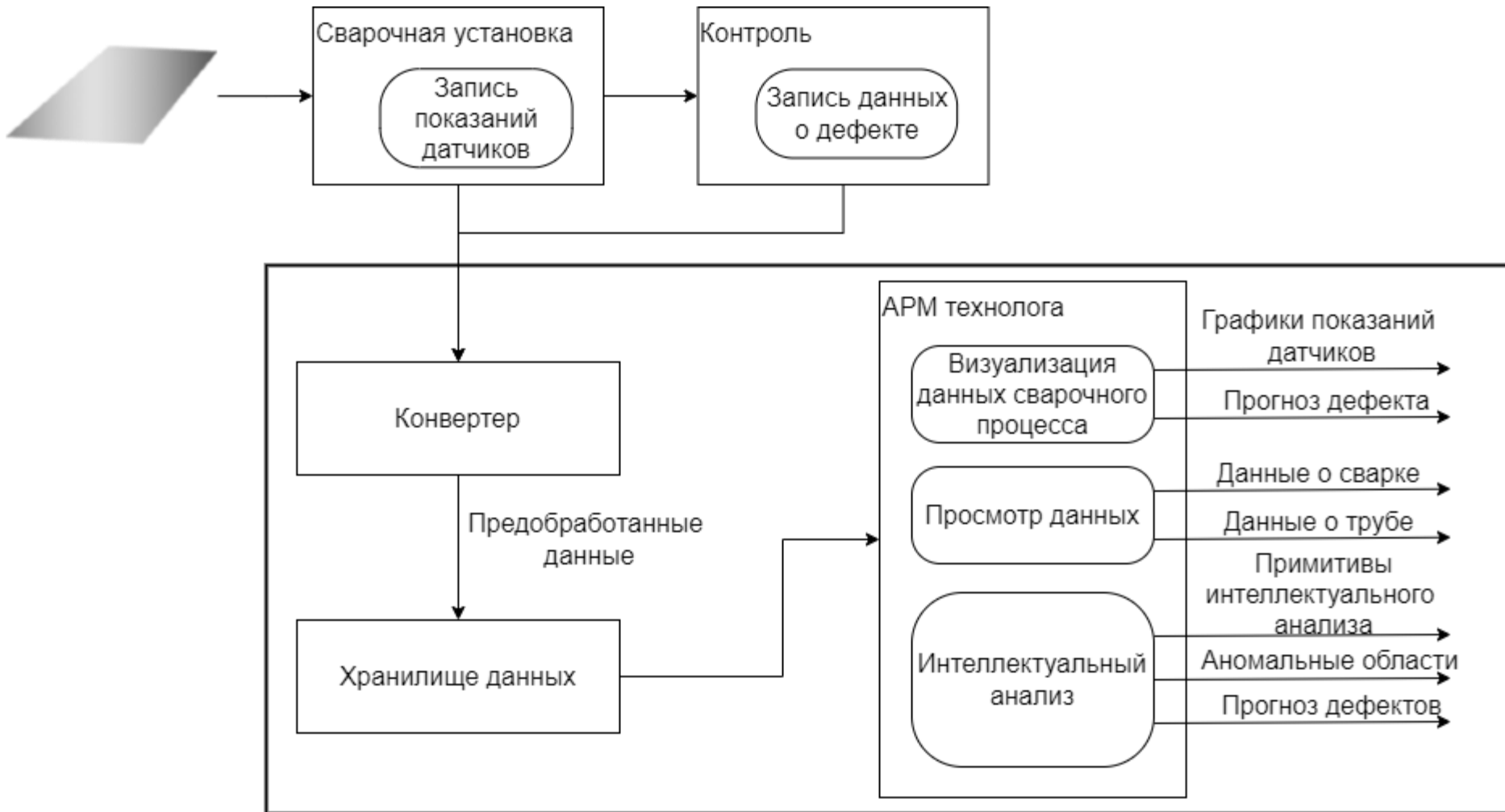
Цель и задачи

- **Цель:** Разработка системы для сбора, хранения и анализа данных электродуговой сварки промышленных труб.
- **Задачи:**
 1. Провести обзор аналогичных работ.
 2. Провести анализ предметной области.
 3. Выполнить проектирование и реализацию системы, в т.ч.
 - хранилище данных протоколов сварки, включая модуль подготовки данных;
 - АРМ технолога, обеспечивающий визуализацию данных протоколов сварки и прогноз дефекта сварного шва.
 4. Провести вычислительные эксперименты по исследованию модели прогнозирования дефекта.

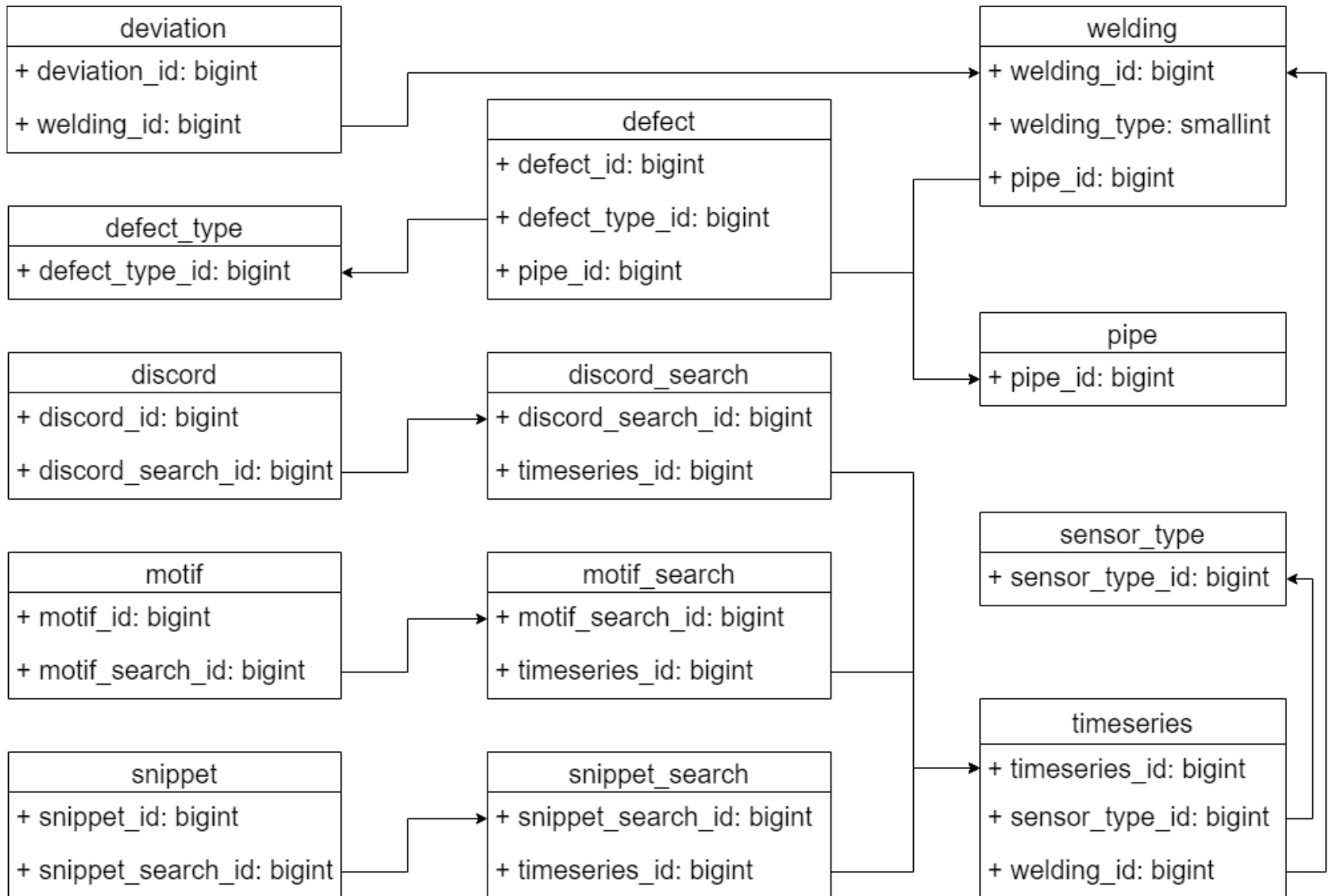
Обзор работ

Shin S. et al Real-Time Detection of Weld Defects for Automated Welding Process Base on Deep Neural Network. Metals. March 2020	Глубокая нейронная сеть предсказания дефекта сварки в режиме real-time
Zhao D. et al Welding quality evaluation of resistance spot welding based on a hybrid approach. // Journal of Intelligent Manufacturing. October 2021	Нейронная сеть с использованием анализа главных компонентов
Mirapeix J. et al Real-time arc-welding defect detection and classification with Principal Component Analysis and Artificial Neural Networks. NDT & E International. June 2007	Спектроскопический анализ плазмы с помощью нейронных сетей и анализа главных компонентов
Ультразвуковой контроль Научно-Производственного Центра «ЭХО+»	Ультразвуковой контроль сварочного шва, выполняемый оператором
Hou W. et al Deep features based on a DCNN model for classifying imbalanced weld flaw types. Measurement. 2018	Нейронная сеть для определения дефекта по снимку ретнгентелевизионного контроля

Архитектура системы



Хранилище данных

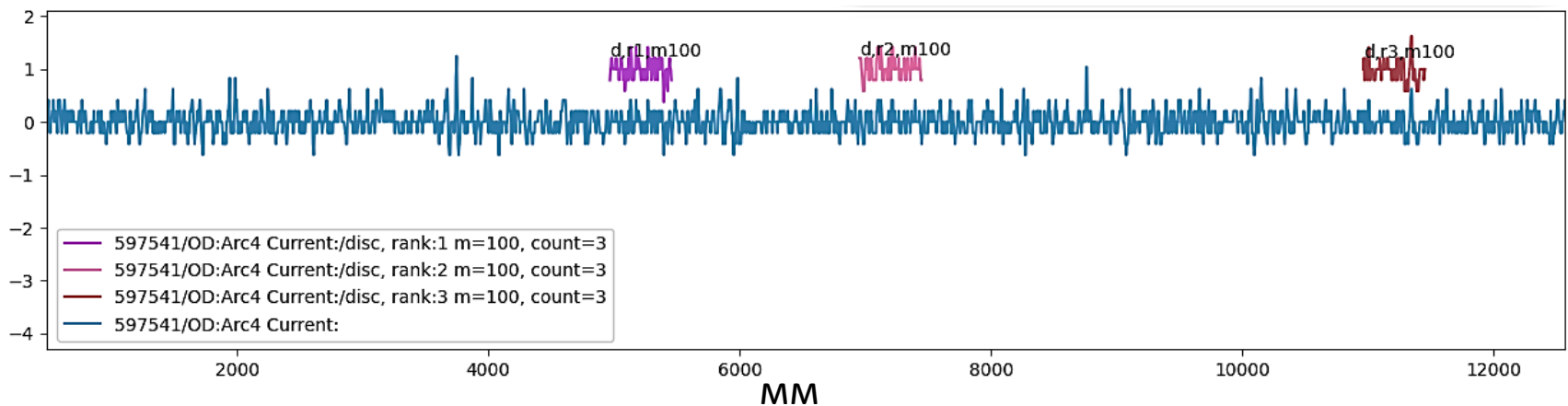
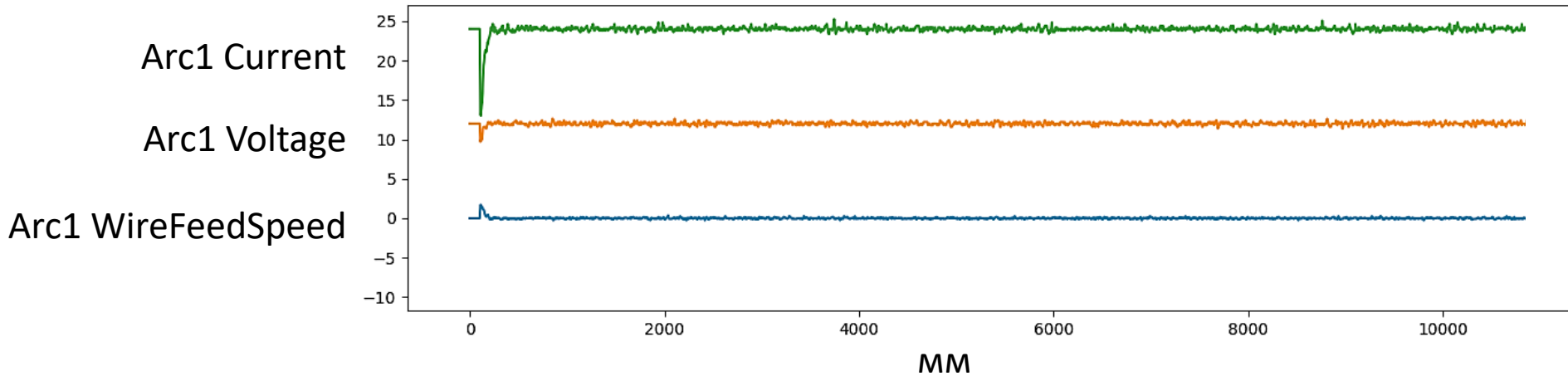


Автоматизированное рабочее место (АРМ)

```
Администратор: Anaconda Powershell Prompt (Anaconda3)
pipe>sel 597541
Труба № 597541, толщина трубы - 34.6, используемых дуг - 4, диаметр - 1153.0, дефектов - 0, мат
Внутренняя сварка: Дата сварки - 2017-07-26 17:18:45, стан - ID-5, количество отклонений - 5,
Внешняя сварка: Дата сварки - 2017-07-26 23:55:38, стан - OD-2, количество отклонений - 0, ско
597541/welding>type od
597541/OD/timeseries>info
      welding_id  pipe_id  ...                               sensor_ids  timeseries_len
0           89890   47386  ... [21, 110, 109, 20, 88, 84, 19, 87, 83, 18, 86,...           22472.5

[1 rows x 35 columns]
Стан - OD-2:
Дата/время сварки - 2017-07-26 23:55:38:
Продолжительность сварки - 22.4725 секунд:
Количество датчиков - 87:
Дуга 1:
    Диаметр 120.0, угол 5.0, ток 5.0, напряжение -15.0, фаза -15.0
Дуга 2:
    Диаметр 5.0, угол 5.0, ток -15.0, напряжение 1450.0, фаза 1450.0
Дуга 3:
    Диаметр 5.0, угол -15.0, ток 1450.0, напряжение 31.0, фаза 31.0
Дуга 4:
    Диаметр -15.0, угол 1450.0, ток 31.0, напряжение 0.0, фаза 0.0
Дуга 5:
    Диаметр 1450.0, угол 31.0, ток 0.0, напряжение 5.0, фаза 5.0
597541/OD/timeseries>disc 5 100 3
[597541/o/d/m=100/c=3/5, 597541/o/s/Arc4 Current:]
597541/OD/timeseries>show
Строю график
```

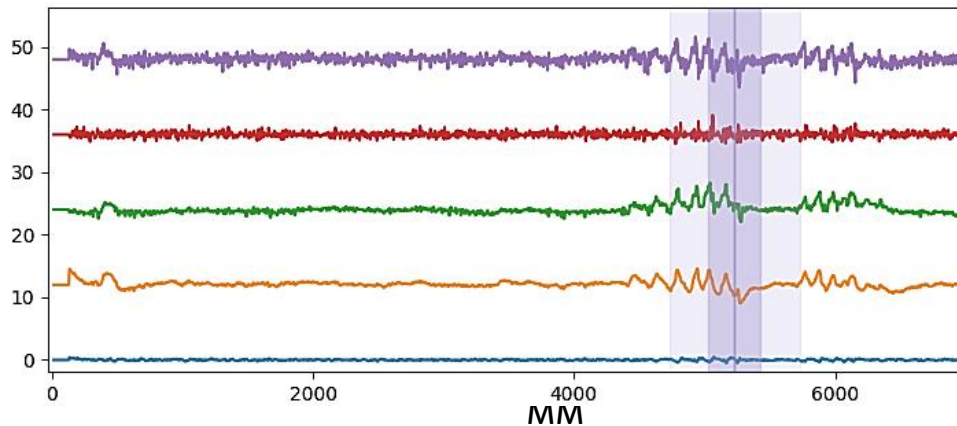
APM: Визуализация



Выявление аномалий

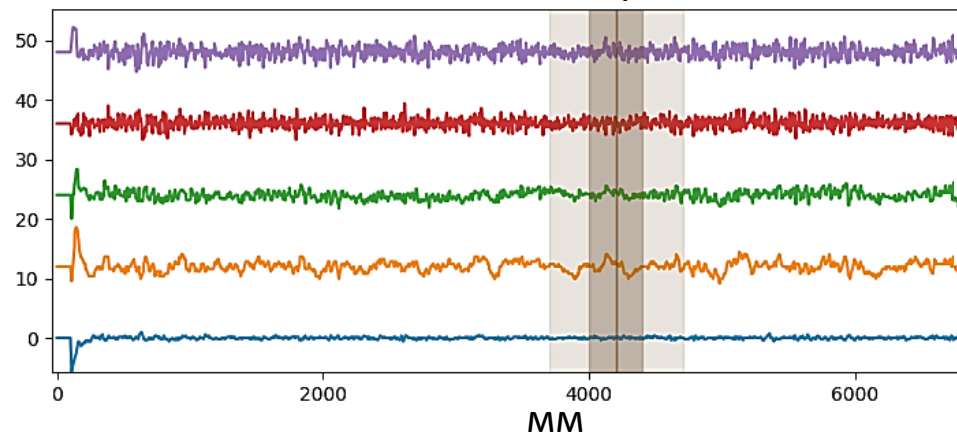
Шлаковые
включения

Arc1 Current
Arc1 Voltage
Arc1 IsntwertCurrent
Arc1 IsntwertVoltage
Arc1 WireFeedSpeed

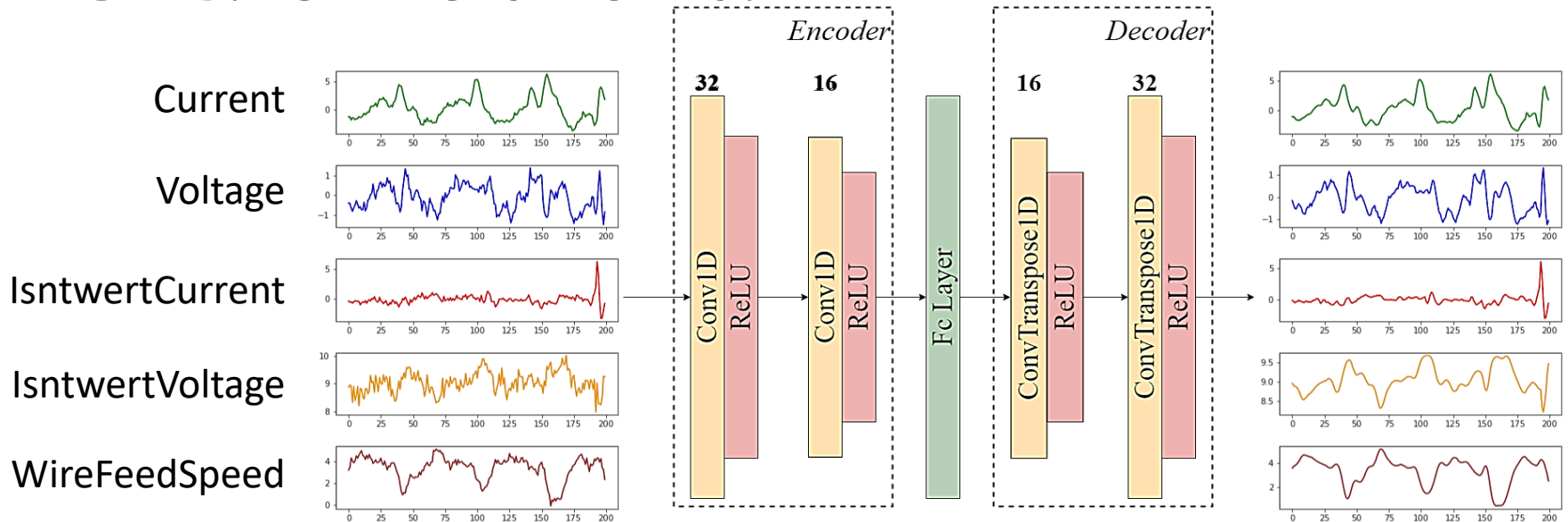


Поры

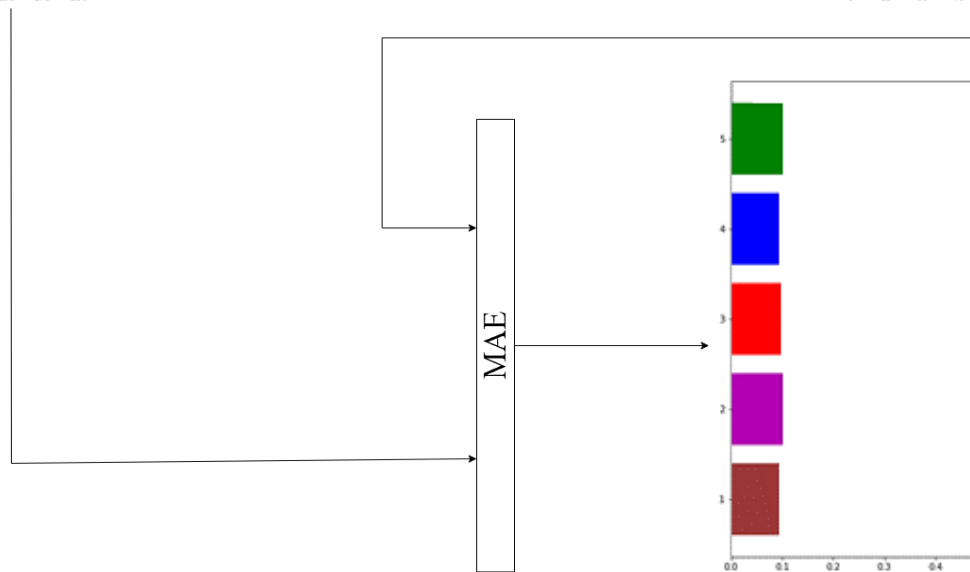
Arc1 Current
Arc1 Voltage
Arc1 IsntwertCurrent
Arc1 IsntwertVoltage
Arc1 WireFeedSpeed



Выявление аномалий



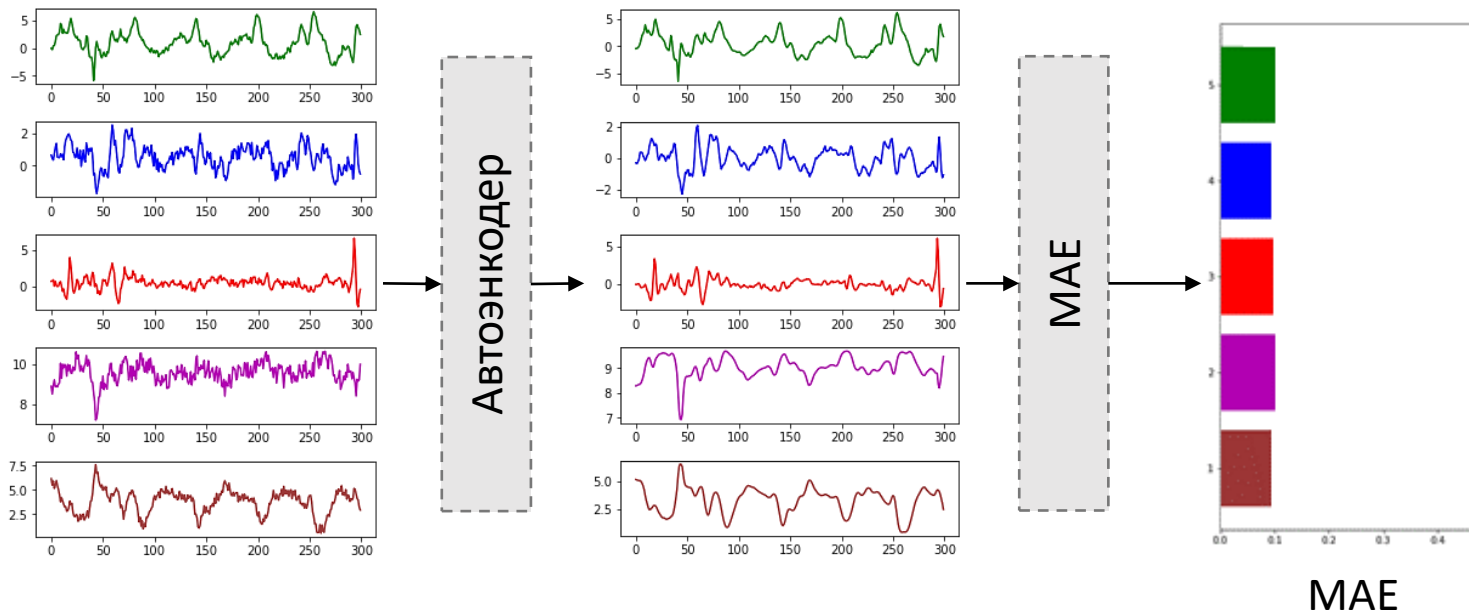
$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |y_i - x_i|$$



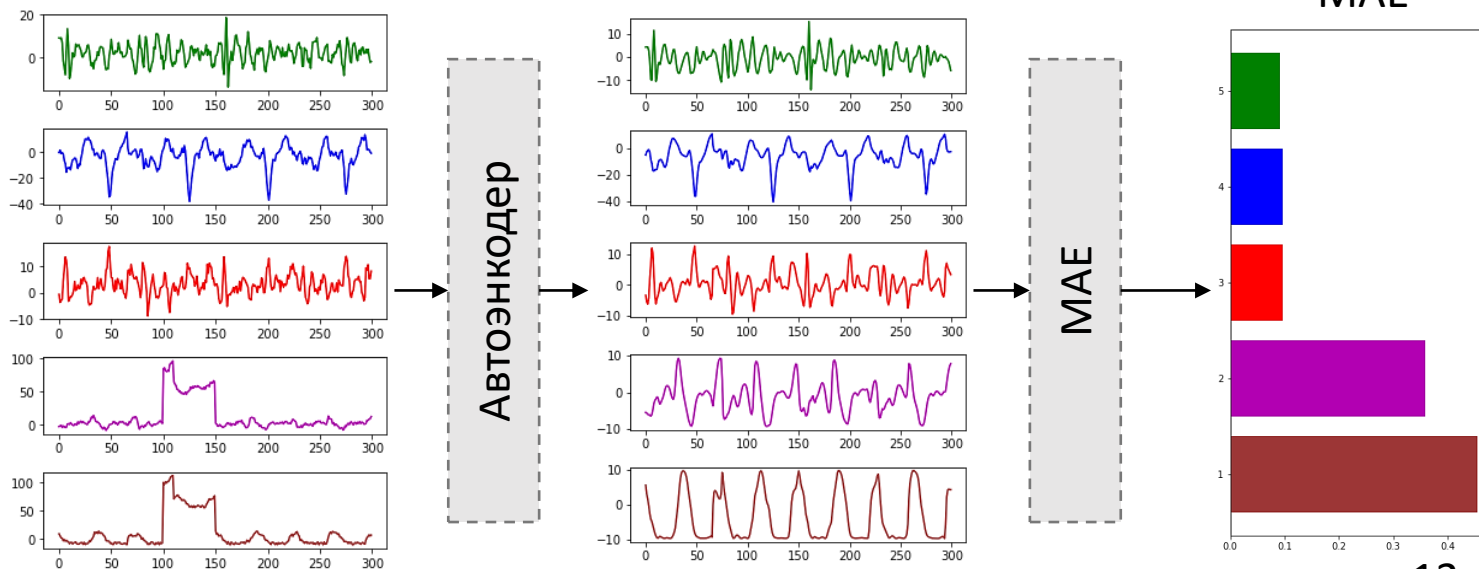
MAE

Обучение модели

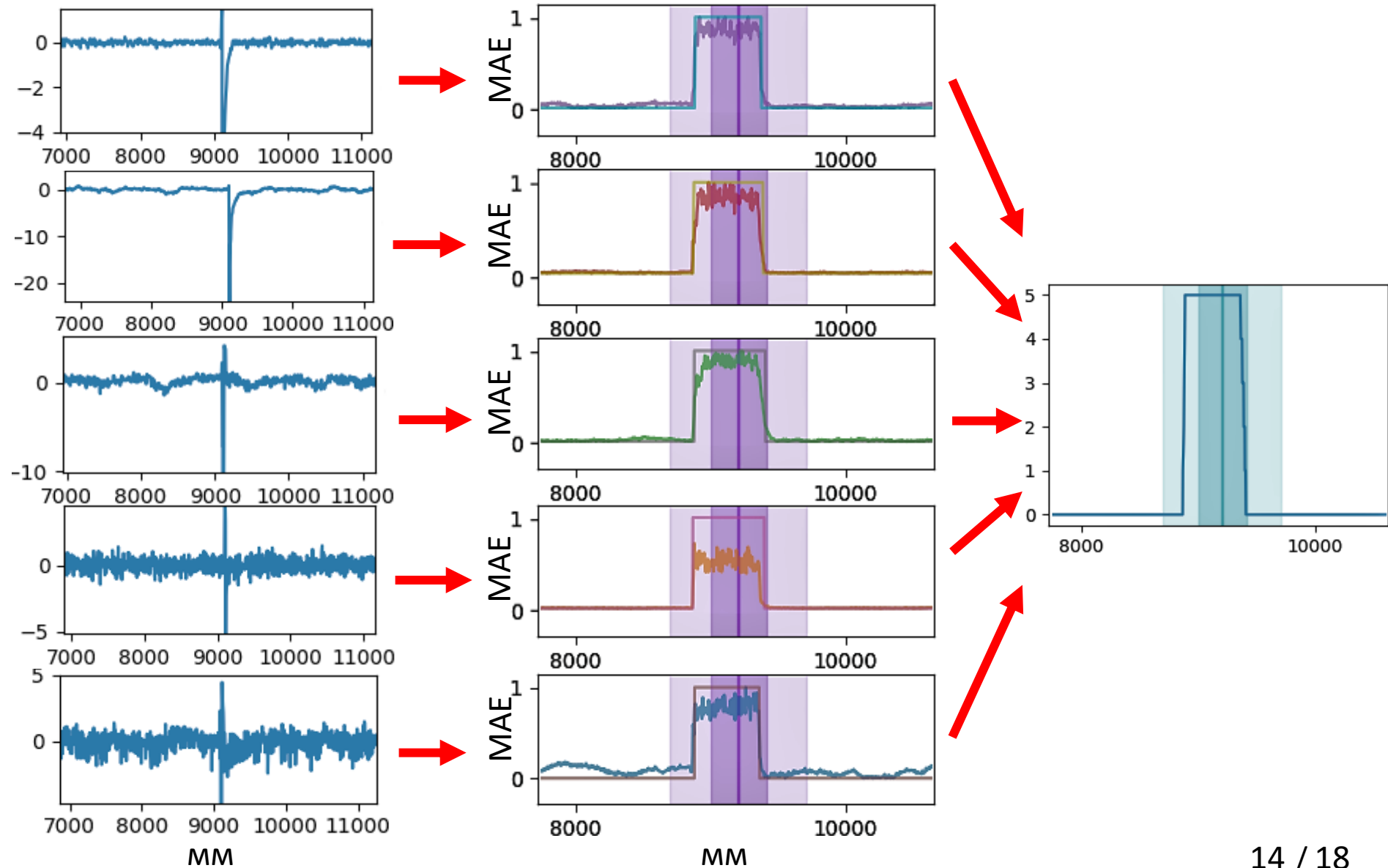
Труба без дефектов



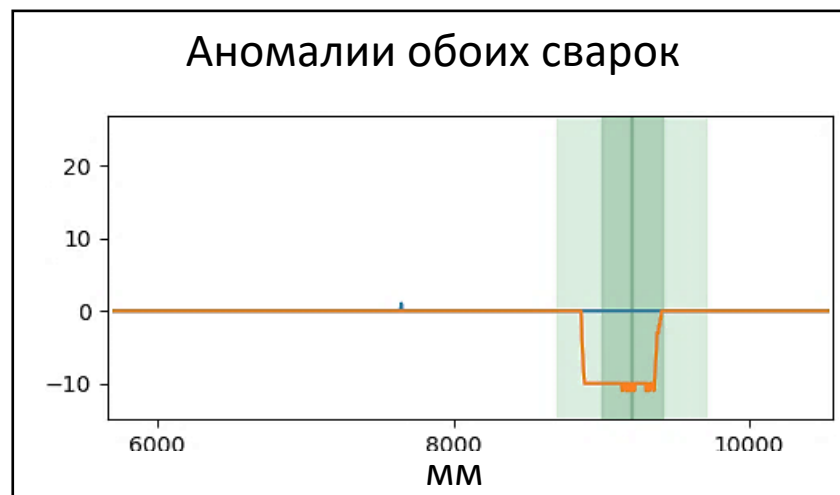
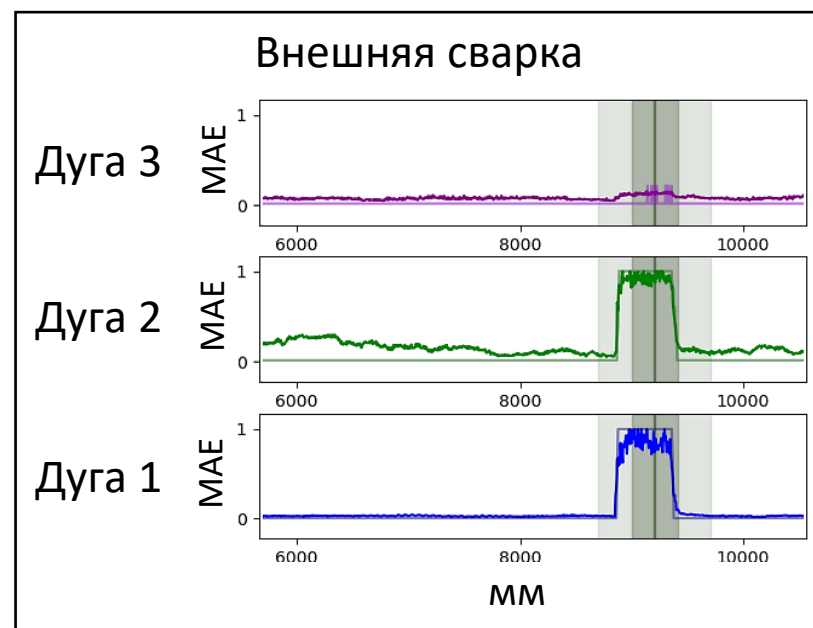
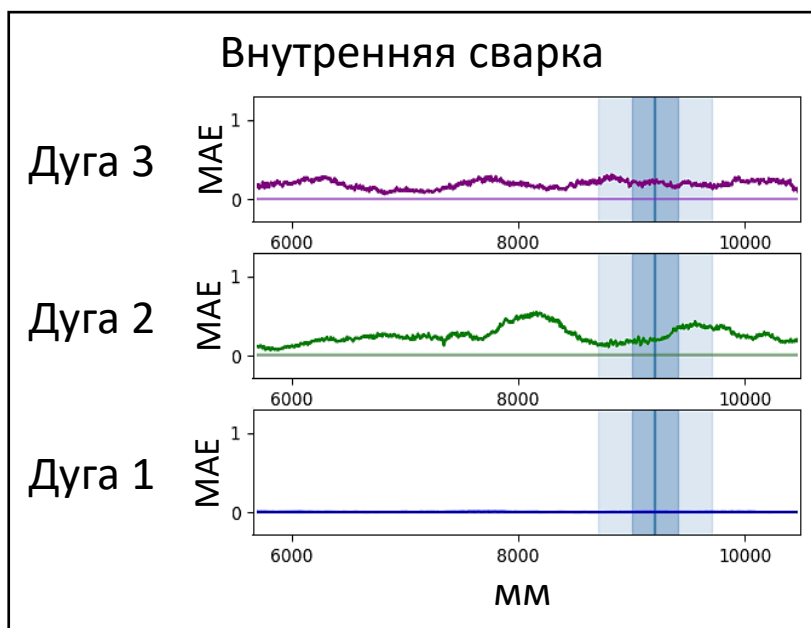
Дефектная труба



Результат работы модели

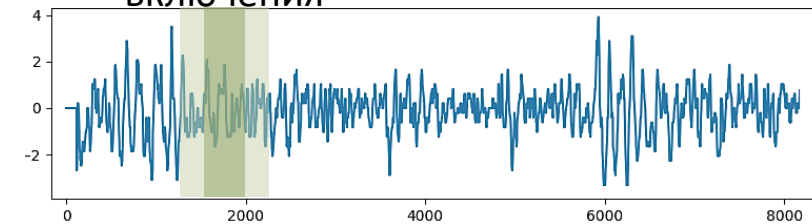


Результат работы модели

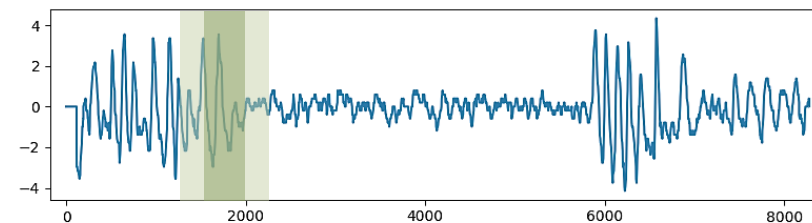


Точность модели

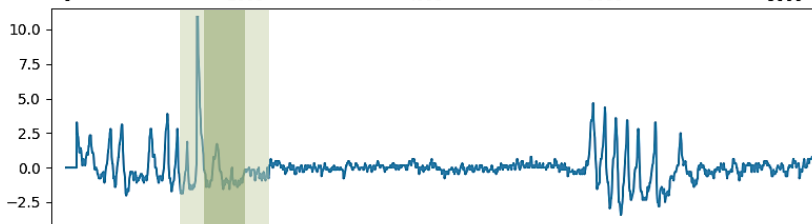
Шлаковые
включения



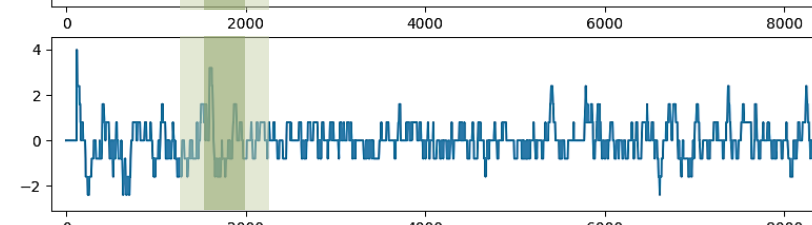
Arc4 Voltage



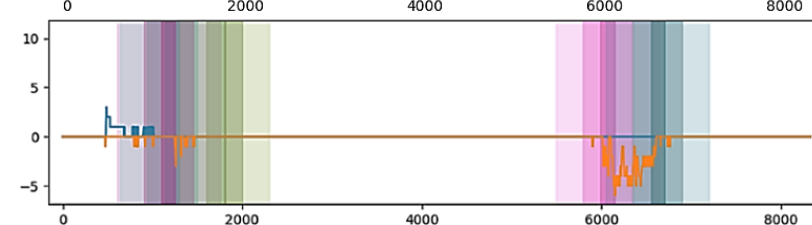
Arc3 Voltage



Arc2 Voltage



Arc1 Voltage



— Аномальные области внешней сварки
— Аномальные области внутренней сварки

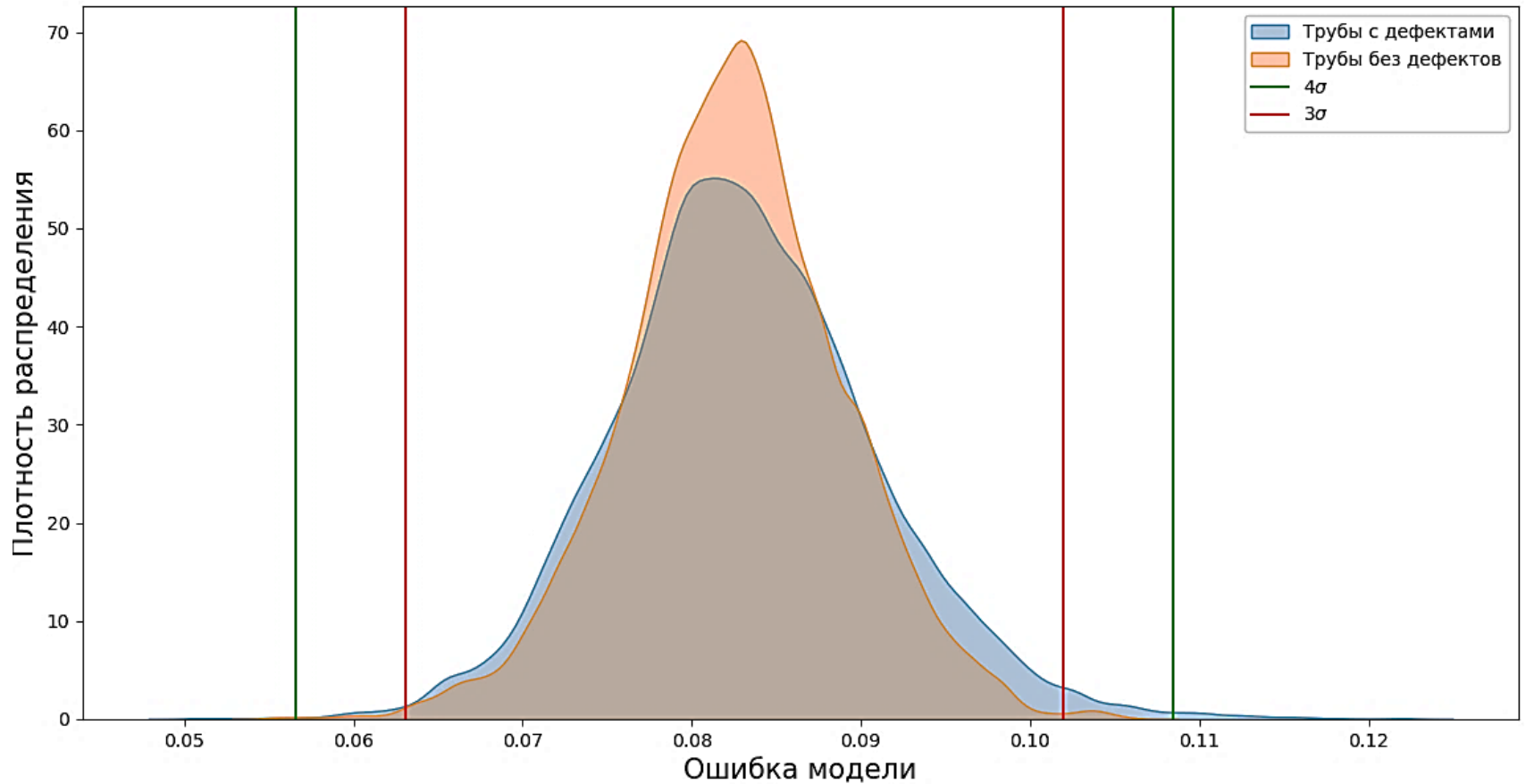
Грант и свидетельство



Основные результаты

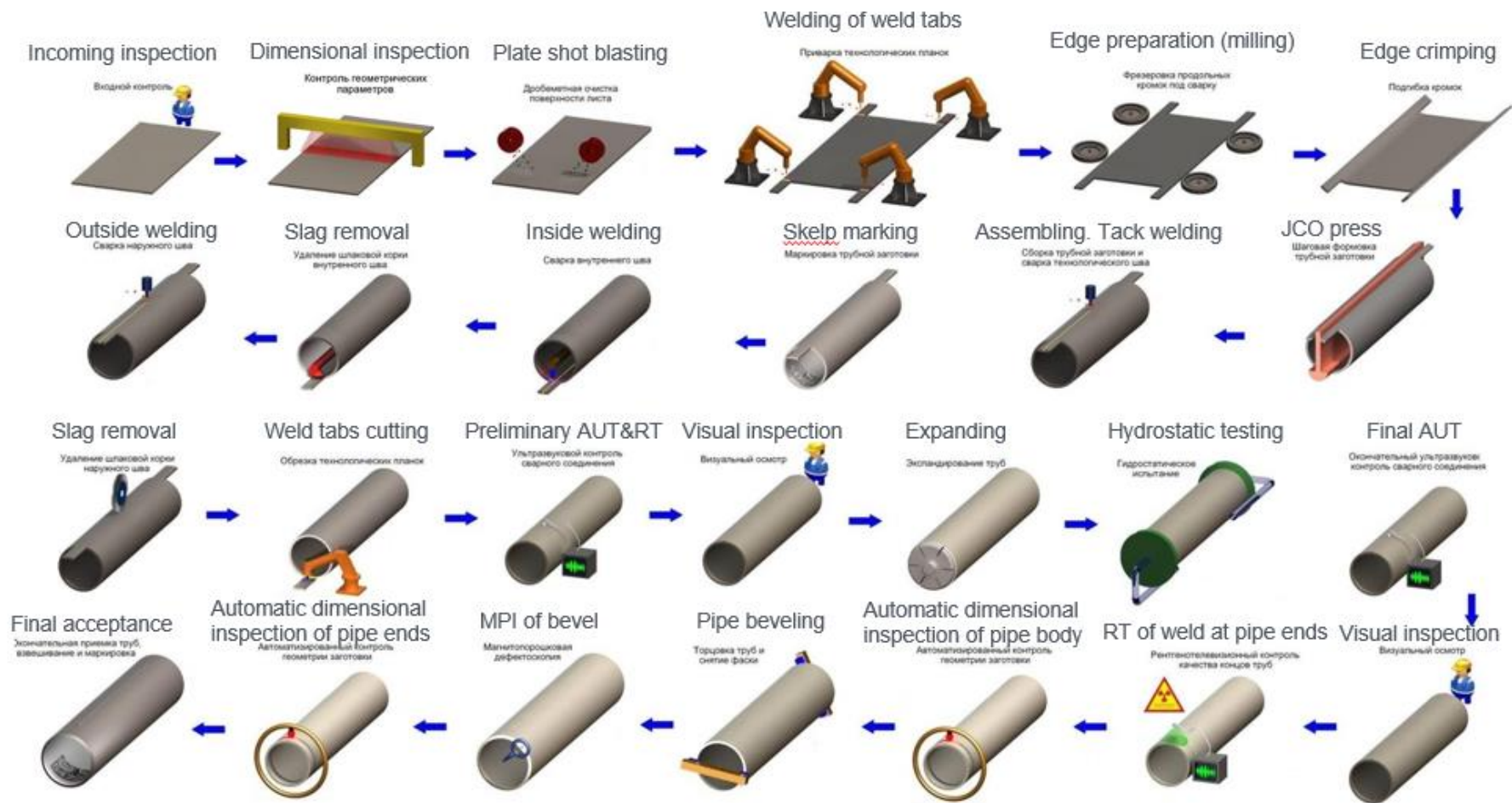
1. Проведен обзор аналогичных работ.
2. Проведен анализ предметной области.
3. Спроектирован и реализован программный комплекс, который включает в себя модуль конвертации, модуль хранения и модуль доступа к данным с их анализом.
4. Проведены вычислительные эксперименты по исследованию модели прогнозирования дефекта.
5. Получен грант по программе УМНИК.
6. Получено свидетельство регистрации программы для ЭВМ.

Принцип работы модели



$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Полный жизненный цикл трубы



Пример протокола сварки

Position:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	0	496	267	175	617	163	78	16	65	64	24	299	247	124	122	220	4	7	4	10	2
2	0	524	361	250	400	525	67	32	83	43	75	218	55	93	62	157	3	8	1	10	8
3	0	656	702	760	582	933	22	65	75	80	35	198	123	14	51	94	8	0	5	5	7
4	0	307	62	942	542	940	34	75	81	64	12	269	16	189	36	41	1	7	9	7	1
5	0	191	50	605	842	710	61	10	37	91	44	24	254	119	110	94	10	8	0	2	4
6	0	555	994	289	575	107	11	46	62	97	51	127	70	73	228	164	0	2	6	5	9
7	3	838	722	278	503	327	58	83	39	39	95	96	36	151	45	273	7	2	6	9	6
8	9	571	735	740	439	941	79	17	68	20	19	99	10	214	50	261	6	6	7	3	2
9	16	51	702	601	883	995	58	37	100	88	75	40	92	239	232	5	9	2	8	2	1
10	19	757	149	459	115	786	62	96	14	37	12	28	18	3	133	215	6	7	9	8	5
11	23	567	888	711	86	324	90	24	100	69	3	86	118	148	100	257	4	6	8	6	1
12	26	775	682	213	896	153	25	62	44	37	14	165	36	102	149	94	9	2	3	2	5
13	36	406	607	879	115	243	19	9	8	0	18	39	281	99	160	281	10	6	9	8	1
14	38	39	432	133	397	597	80	25	35	31	17	128	16	287	183	127	4	7	6	2	2
15	43	380	783	4	910	833	63	29	53	26	82	280	231	294	278	223	0	3	9	10	0

WireFeedTorqueMax	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
10	0	0	0	0	11700	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	4	4	76	90
10	1,2	0	0	-0,1	11710	0	0	0	0	0	0	0	1	4	5	4	3	44	77
10	1,2	0	0	0,1	11720	0	0	0	0	0	0	0	1	5	4	1	3	99	69
10	1,2	0	0	0,1	11730	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	0	2	67	10
10	1,2	0	0	0,1	11740	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	0	0	65	20
10	1,2	1	80	4	11750	0	0	0	0	0	0	0	1	4	1	0	4	40	42
10	10,8	2	90	2	11760	180	0	30	0	0	0	0	3	2	5	1	1	67	64
10	10,8	1	100	-0,2	11770	60	0	28	0	0	0	0	3	4	0	1	2	71	21
10	10,8	2	110	3	11780	144	0	26	0	0	0	0	0	1	2	5	1	61	46
10	10,8	1	120	2,2	11790	108	0	24	0	0	4	0	5	1	5	3	0	82	96
10	122,4	30	110	0,5	11800	132	0	22	0	0	8	0	378	485	402	333	739	98	10
10	122,4	100	120	1	11810	108	0	20	28	30	7	0	582	623	928	941	260	64	28
10	122,4	70	100	1	11820	132	0	18	25	25	23	0	808	447	67	22	854	48	32
10	122,4	50	103	1	11830	120	0	16	22	20	22	0	797	107	52	550	682	10	86
10	117,6	40	104	1,5	11840	156	0	14	19	15	24	0	866	854	51	766	902	14	37

Arc3 Istwert	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV
31	7	71	100	200	150	110	350	200	100	150	100	110	80	80	70	100	70	0
46	39	26	100	300	150	110	350	200	40	150	100	110	80	80	70	100	70	0,3
87	68	17	100	300	150	110	350	200	40	150	100	110	80	80	70	100	70	0,5
13	53	89	100	300	150	110	350	200	40	150	100	110	80	80	70	100	70	0,8
73	53	46	100	300	150	110	350	200	40	150	100	110	80	80	70	100	70	1
48	27	45	500	300	450	110	350	80	50	70	100	110	80	80	70	100	70	1,3
68	94	47	500	300	450	110	350	80	50	70	100	110	80	80	70	100	70	1,5
10	82	48	500	300	450	110	350	80	50	70	100	110	80	80	70	100	70	1,8
75	75	53	500	300	450	320	450	80	50	70	60	60	80	80	70	100	70	2
1	93	0	500	300	450	320	450	80	50	70	60	60	150	150	100	100	70	2,3
13	31	72	500	200	450	320	450	80	50	70	60	60	150	150	100	100	70	2,5
76	2	87	500	200	250	320	450	80	50	231	231	60	150	150	100	100	120	2,8
47	90	0	500	200	250	320	200	80	100	152	152	231	150	150	100	130	120	3
11	6	42	500	200	250	320	200	80	100	153	153	152	150	150	100	130	120	3,3
78	25	94	500	200	250	320	200	80	100	215	215	153	150	150	100	130	120	3,5

Пример ТРТК

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
Счет	Ид. трубы	Поперек	Табельный №	Ведомость			Сварной лист	Результат контроля											Кодирование	Проверить на СРТК	Средний балл					Пакет/труба								
				Дата	Смена	Литера		ТРТК				ТУЭК				№	Год	Внешний номер			Плава			Сортамент										
								шое 2 в трубе годная	шое 1 в листе годная	шое 2 в трубе годная	шое 1 в листе годная	шое 2 в трубе на проверку	шое 1 в листе на проверку	зачистка	ремонт						Со сварки	№	год	Поставщик	Диам	Стенка	Марка стали	ГОСТ						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)
331	0	1	0	1	16.01.2020	1	D	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1111	2020	Z00061	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
332	0	1	0	1	16.01.2020	1	D	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2222	2020	Z00028	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
333	0	1	0	1	16.01.2020	1	D	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3333	2020	V00040	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
334	0	1	0	1	16.01.2020	1	D	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4444	2020	V00035	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
335	0	1	0	1	16.01.2020	1	D	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5555	2020	Z00074	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
336	0	1	0	1	16.01.2020	1	D	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6666	2020	V00035	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
337	0	1	0	1	16.01.2020	2	C	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7777	2020	Z00029	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
338	0	1	0	1	16.01.2020	2	C	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8888	2020	V00074	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
339	0	1	0	1	16.01.2020	2	C	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9999	2020	V00074	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52
340	0	1	0	1	16.01.2020	2	C	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1010	2020	V00075	2020	АО "Уральская сталь"	530	8	17Г1С-У	20295K52	

Технические данные трубы

Издлия по операциям															
Дальнейший маршрут	Результаты контроля	Отклонение по сварке	Агрегат	Сварка внутреннего шва					Сварка наружного шва						
				напряжению		Оклонение по току		скорости		напряжению		Оклонение по току		скорости	
				Координаты (мм)	Дуга	Координаты (мм)	Дуга	Координаты (мм)	Дуга	Координаты (мм)	Дуга	Координаты (мм)	Дуга	Координаты (мм)	Дуга
(50)	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)	(56)	(57)	(58)	(59)	(60)	(61)	(62)	(63)	(64)	
		1	1 стан внутренней сварки	1216.6 - 1222.5	4										
		1	3 стан внутренней сварки					61.2 - 61.6; 861.4 - 861.8; 1231.6 - 1231.9							
		1	3 стан внутренней сварки	309 - 0; 311 - 320.7	2; 3			863.7 - 864; 1233.9 - 1234.2	1 стан наружной сварки	1225.1 - 1232.8	3				
		1	1 стан внутренней сварки	1037.4 - 1041	4										
		1	1 стан внутренней сварки	905.7 - 914	4										
		1	2 стан внутренней сварки	1091.4 - 1097.3; 1166.5 - 1173.2	4; 4			1089.8 - 1090.2	2 стан наружной сварки					338.5 - 341.5	
Ремонт		1	1 стан внутренней сварки	842.1 - 848	4										
		0													
		0													
		1	1 стан внутренней сварки	572 - 573.6	4										

Технические данные сварок

BM	BN	BO
1	2	3
Дефекты. Длина. Место (из ЦМС 3)	Ввод на операции	
	дата	время
(65)	(66)	(67)
	16.01.2020	19:45:29
	16.01.2020	19:07:13
	16.01.2020	18:35:33
	16.01.2020	17:44:50
	16.01.2020	17:56:30
	16.01.2020	09:32:19
61.Шлаковые включения [Расположение дефекта,м: 1] [Длина дефекта, мм: 3.5]; 61.Шлаковые включения [Расположение дефекта,м: 5] [Длина дефекта, мм: 3.4]	17.01.2020	07:23:41
	16.01.2020	21:16:49
	16.01.2020	23:21:56
	16.01.2020	21:39:14

Дефекты