

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГИСТРАТОРА ИНЭМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ДУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ

д.т.н. Сас А.В., д.т.н. Капустин О.Е.
– РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
к.т.н. Островский М.А.
– ОАО «ИНЭУМ» им. И.С. Брука

Требования к источникам питания

Воздействия в ходе выполнения технологического процесса различных возмущений приводит к отклонению значения показателей качества сварного соединения от нормы и к необходимости корректировки параметров режима сварки и параметров функциональных характеристик источника питания .

Быстродействие современных инверторных источников позволяет реализовать практически любой закон изменения мгновенной мощности источника и позволяет обеспечить в том числе и управляемый перенос электродного металла.

Для гарантированного обеспечения требуемого качества сварных соединений необходимо обеспечить возможность оперативного анализа влияния параметров функциональных характеристик источника питания на качество соединений, с последующим синтезом требуемых значений параметров функциональных характеристик источника питания.

Совокупность требований к источникам питания и значению его параметров зависит от многих факторов: от используемой технологии сварки; свариваемого материала и его толщины; требований к качеству сварного соединения; квалификации сварщика и др.

Оценка качества источников питания

- ▶ По ГОСТ25616–83, по 5–ти бальной системе экспертами оцениваются следующие показатели сварочных свойств источника:
 - ▶ – **начальное зажигание дуги** (плохое, трудное, удовлетворительное, хорошее, легкое);
 - ▶ – **стабильность процесса сварки** (плохая, плохая, низкая, удовлетворительная, хорошая, высокая);
 - ▶ – **характер переноса электродного металла** (разбрызгивание: очень большое, большое, повышенное, умеренное, малое);
 - ▶ – **качество формирования шва** (плохое, низкое, удовлетворительное, хорошее, очень хорошее);
 - ▶ – **эластичность дуги** (плохая, низкая, удовлетворительная, хорошая, высокая).
- ▶ **Регистратор AWS–024**, которым оснащены центры аттестации сварочного оборудования, позволяет определять статические вольт–амперные характеристики источников питания.

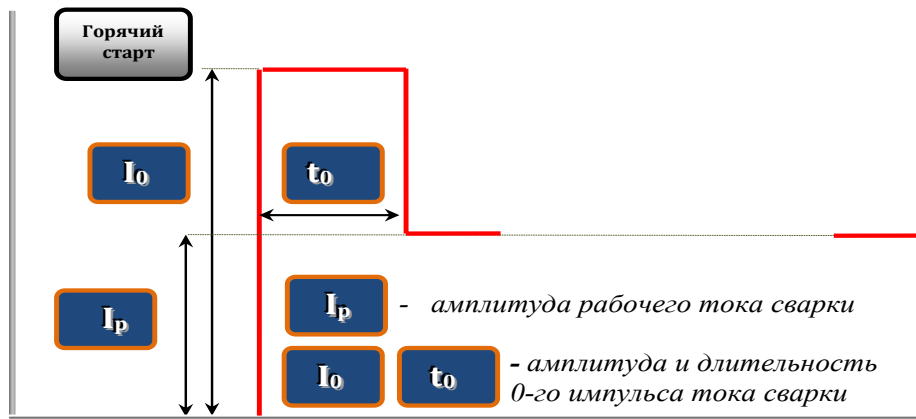
Функциональные характеристики современных инверторных источников питания

Статическая вольтамперная характеристика (ВАХ) – зависимость напряжения на зажимах источника питания от величины сварочного тока – должна обеспечивать устойчивое горение дуги и стабильный процесс сварки. Требуемые параметры ВАХ источника питания (в том числе максимальный рабочий ток) определяются статической ВАХ дуги конкретного технологического процесса.

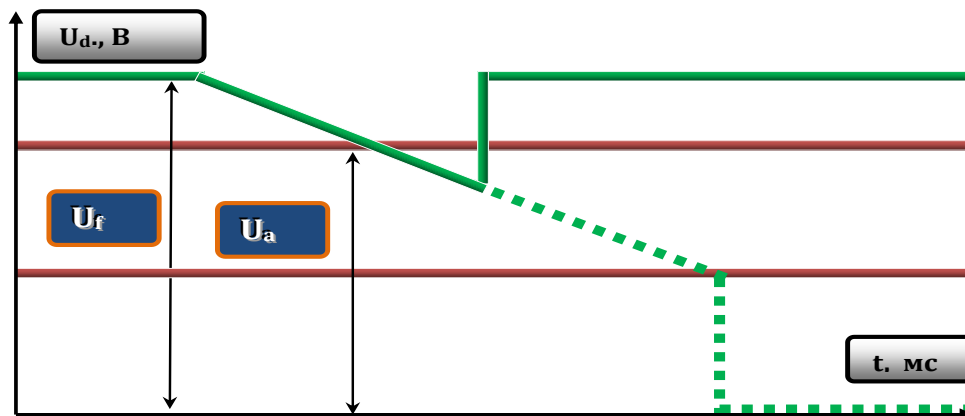
Горячий старт – кратковременное увеличение тока в начале сварки для легкого зажигания дуги.

Форсаж дуги – наброс тока (в тот момент, когда напряжение на дуге (U_d) становится меньше определенного порога ($U_d < U_f$), что способствует отделению капли, предотвращает прилипание электрода, а напряжение на дуге возвращается к рабочему. Амплитуда наброса (A_f) и порог (U_a) срабатывания зависит от типа электрода.

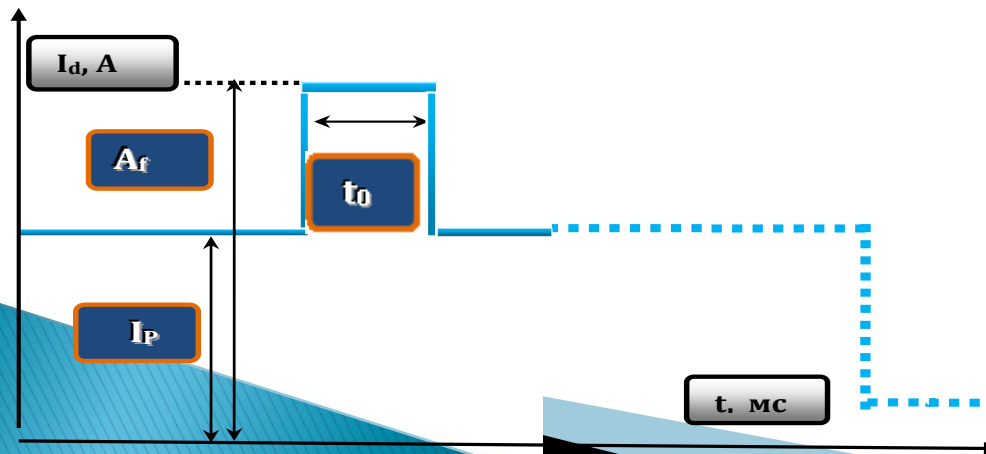
Антистикинг – сброс тока до минимального при прилипании электрода для предотвращения его перегрева. После устранения короткого замыкания аппарат должен автоматически возвращаться в рабочее состояние.



параметры «Горячего старта»



форсаж дуги и антистикинг



параметры форсажа дуги

Импульсный режим – задание и регулировка параметров импульсов (амплитуды, длительности, частоты...) для обеспечения энергетических параметров дуги при сварке, например, алюминия, тонколистовых конструкций и других (например, потолочных и вертикальных швов и т.д.).

Принудительный обрыв дуги – гашение дуги при снижении напряжения ниже заданного в случае, например, когда необходимо быстро изменить место сварки в стесненных условиях. Величина устанавливаемого напряжения принудительного обрыва дуги зависит от квалификации сварщика.

Блок снижения напряжения (БСН) – снижение напряжения холостого хода источника до безопасной для человека величины.

Продолжительность нагрузки (ПН%) – отношение времени работы источника под нагрузкой с отключением при перегреве к суммарному времени работы под нагрузкой и в режиме холостого хода.

Защита от перегрева – отключение источника при превышении температуры силовых элементов установленных порогов, чтобы эти элементы не вышли из строя. После остывания источник должен автоматически возвращаться в рабочее состояние.

Защита от 380В – обеспечение отключения источника при ошибочном включении его в сеть питания 380В (подключения на две фазы).

Выбор электрода – установка параметров источника питания (статической вольтамперной характеристики, горячего старта, форсажа дуги, антистикинга и др.) в зависимости от используемого типа электрода (с рутиловым, основным и целлюлозным покрытием покрытием, для сварки алюминия, чугуна и нержавеющей стали).

Запоминание сварочных программ – сохранение в памяти источника настроек параметров, подобранных для определенного типа работ, что позволяет в дальнейшем их устанавливать по запомненному номеру настройки.

Запоминание архива событий – сохранение в памяти источника общего времени включения аппарата, суммарного времени сварки, гистограмм уставок тока, количества коротких замыканий, количества перегревов и др.

Резюме

Для профессиональной качественной сварки ответственных конструкций в источнике необходим широкий набор регулировок и наличие импульсного режима, чтобы обеспечить возможность формирования оптимальных режимов при снижении требований к квалификации сварщика.

Заводские установки параметров должны позволить свести настройку аппарата к простому выбору типа электрода.

Регистратор параметров сварочных источников (ИНЭМ–ЭКСПЕРТ)

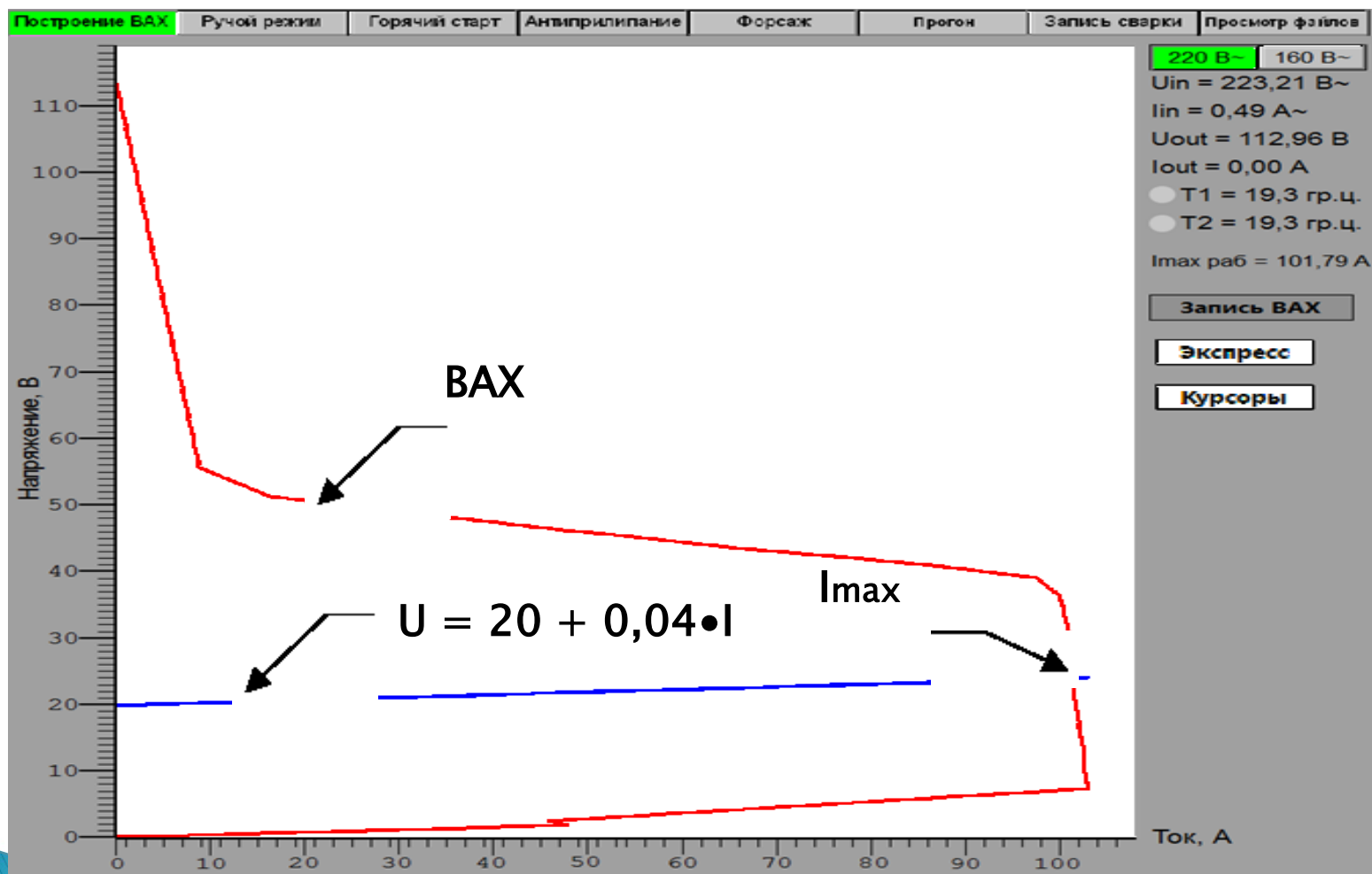


Регистрация параметров сварочных источников.

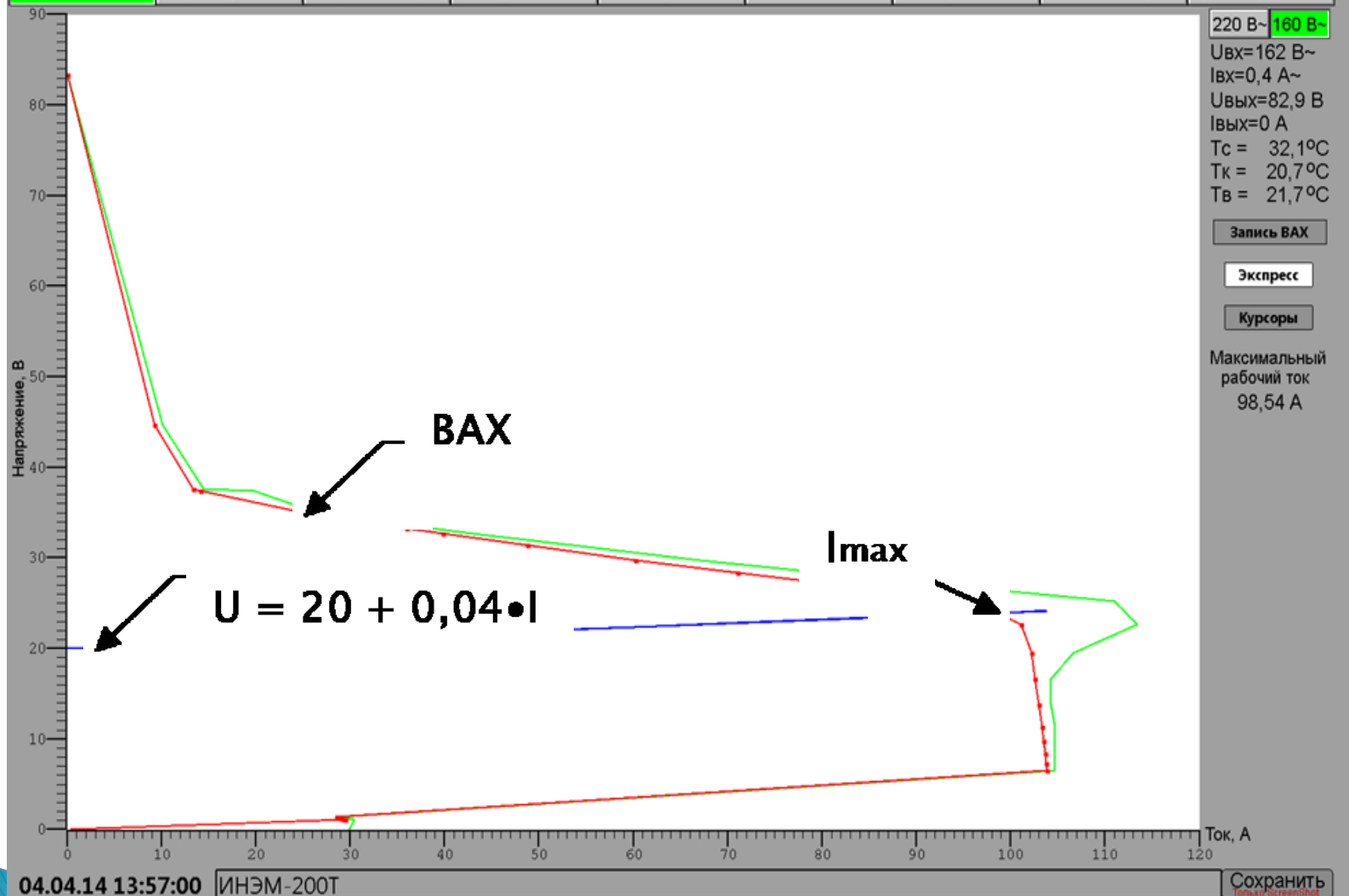
Для регистрации параметров сварочных источников необходимо осуществлять:

- измерение ВАХ при различных значениях входного напряжения с автоматическим определением максимального или минимального сварочного тока;
- запись осциллограмм «горячего старта» и определение его параметров (амплитуды и длительности);
- определение параметров «Форсажа дуги» (амплитуды и порога срабатывания);
- запись осциллограмм для определения параметров «антистикинга» (времени срабатывания и тока короткого замыкания);
- тестирование сварочных источников под нагрузкой с целью определения ПН (%);
- измерение активной, реактивной и полной потребляемой мощности с расчетом коэффициента мощности и др.

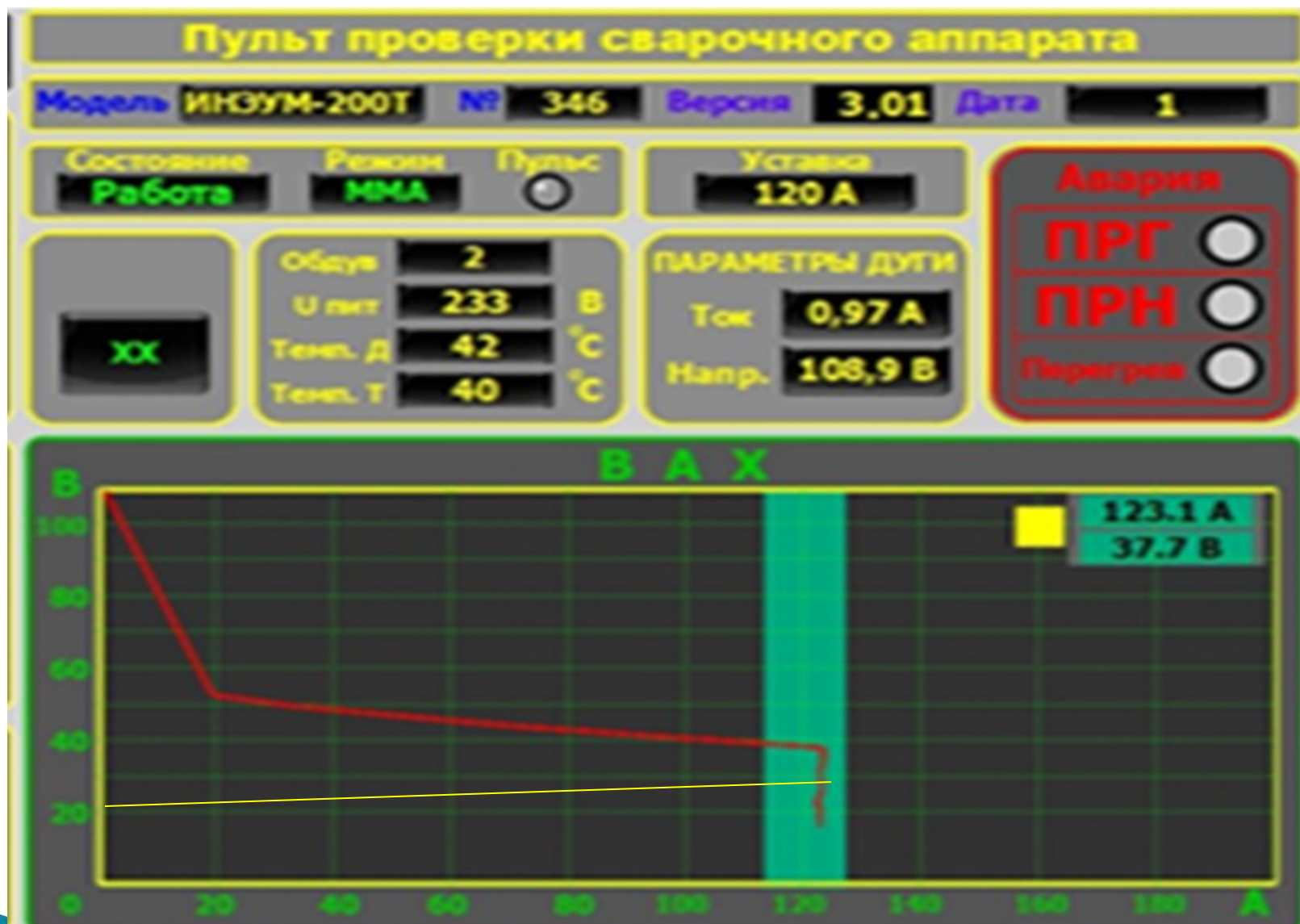
Измерение вольтамперной характеристики (ВАХ)



Построение ВАХ Ручной режим Горячий старт Антиприлипание Форсаж Отклик Прогон Запись сварки Просмотр файлов



Тестирование источников



Пульт проверки сварочного аппарата

Модель РЕСАНТА САИ 190

27,6 В



Уставка 190 А

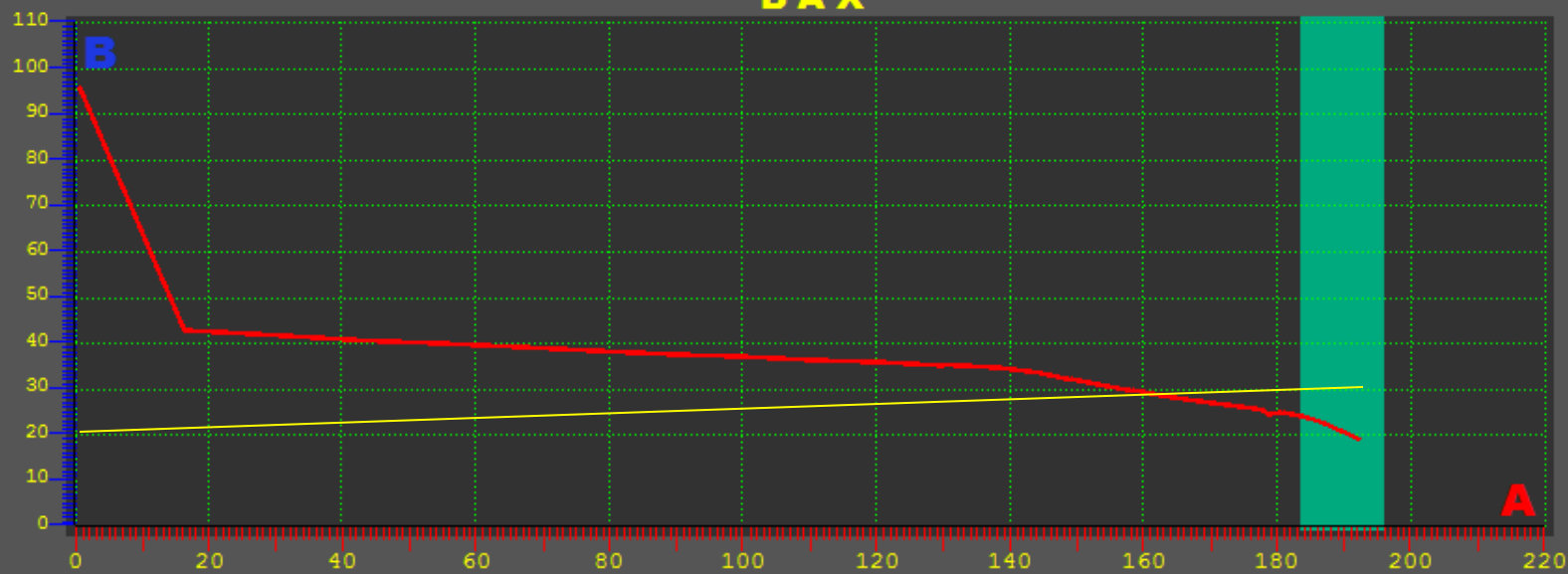
Заводской номер GP98.190.29824



0,6 А

96,1 В

ВАХ



Пульт проверки сварочного аппарата

Модель

СВАР ИС 200

28,0 В



Уставка

200 А

Заводской номер

111065917



-0,3 А

91,8 В

Сет



Выбо



Изн

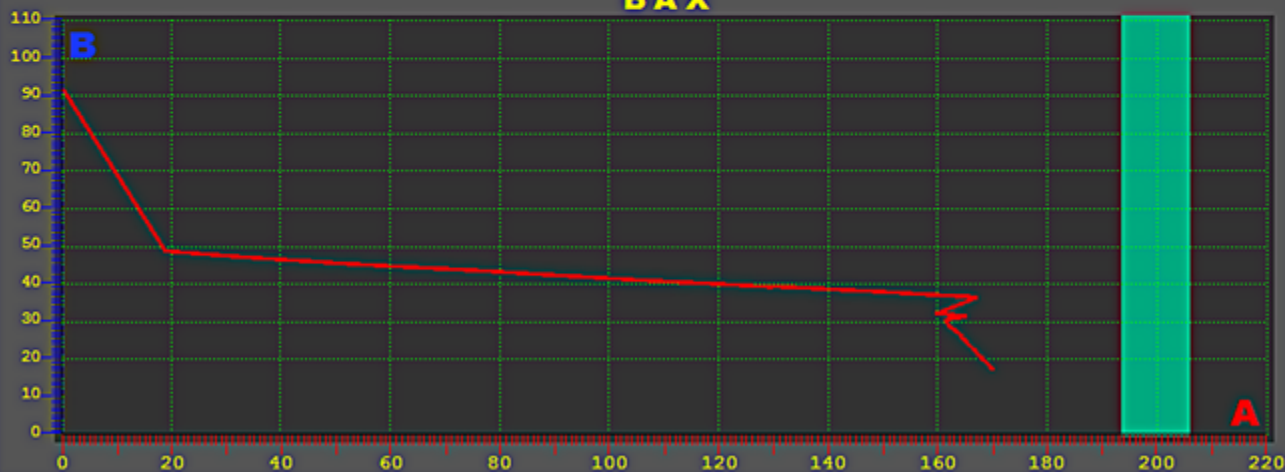
Стар

00

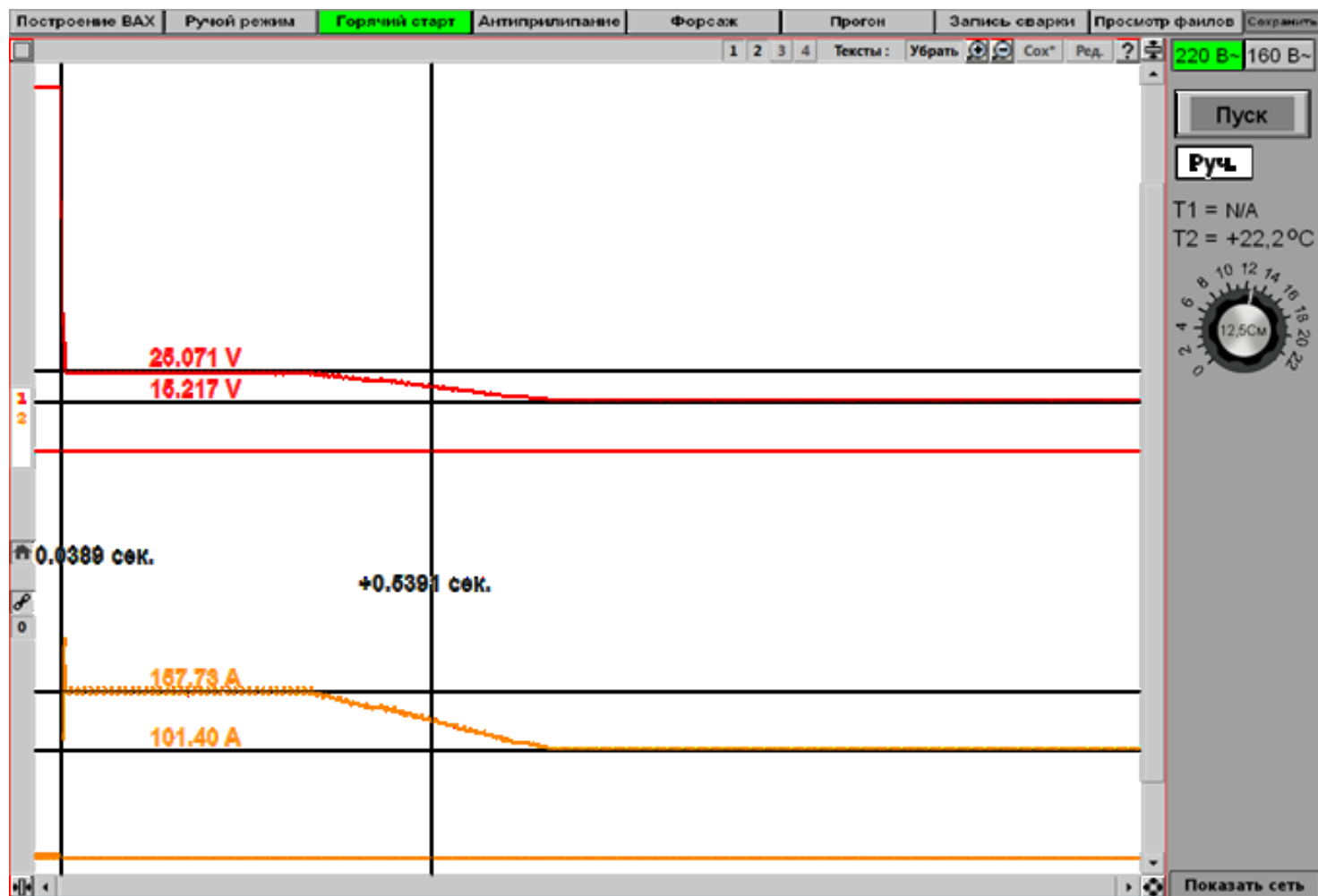
2,435 kW/ч

кВт

В А X

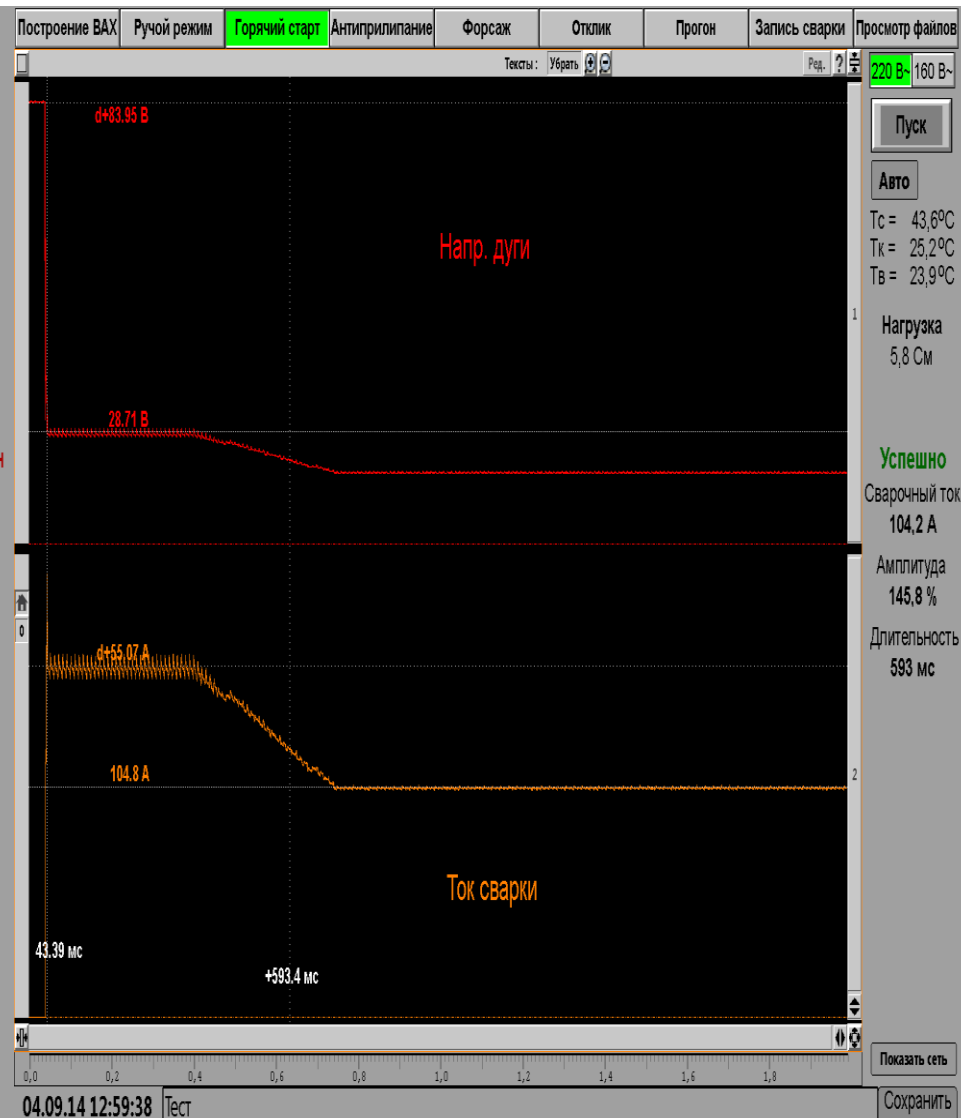
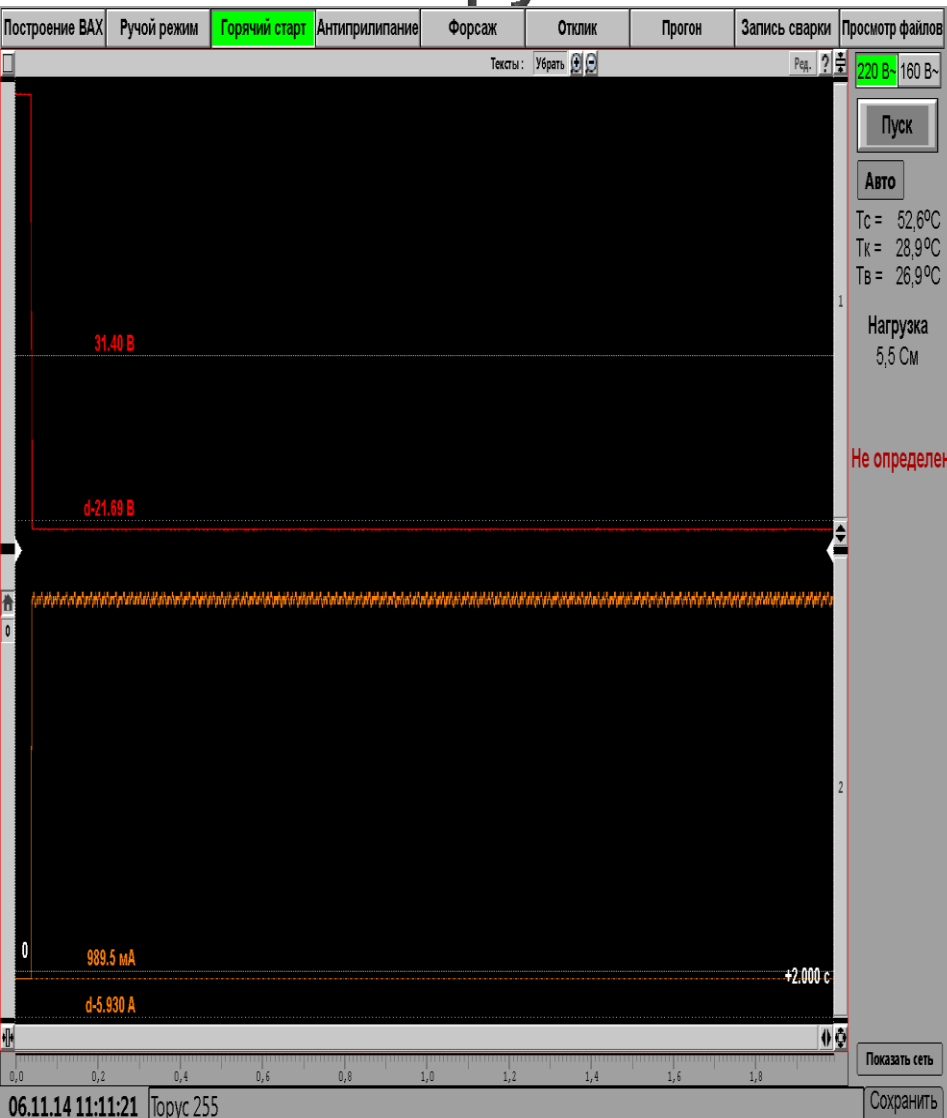


Определение параметров «горячего старта»

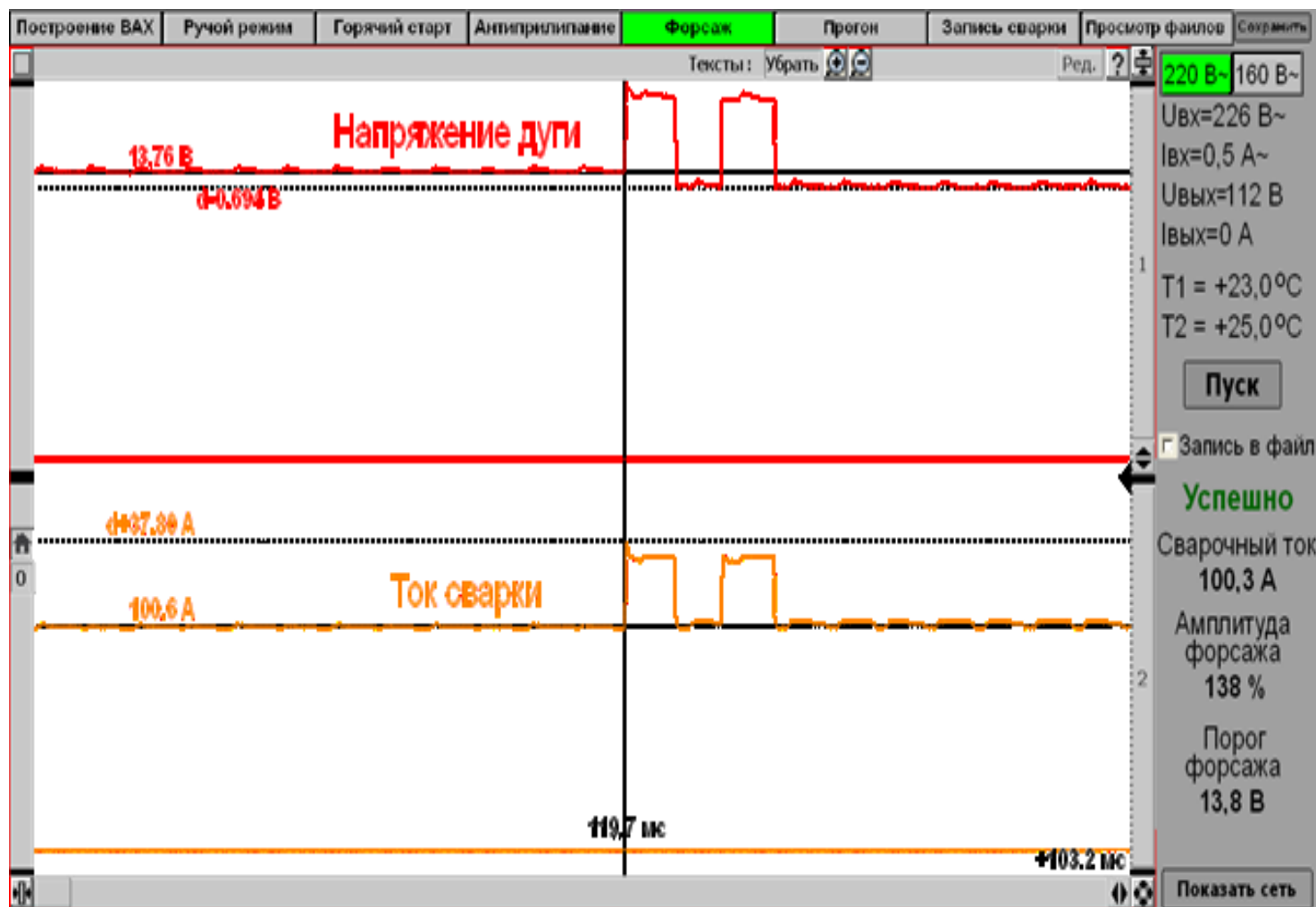


Горячий старт Торус 255

ИНЭУМ 200Т



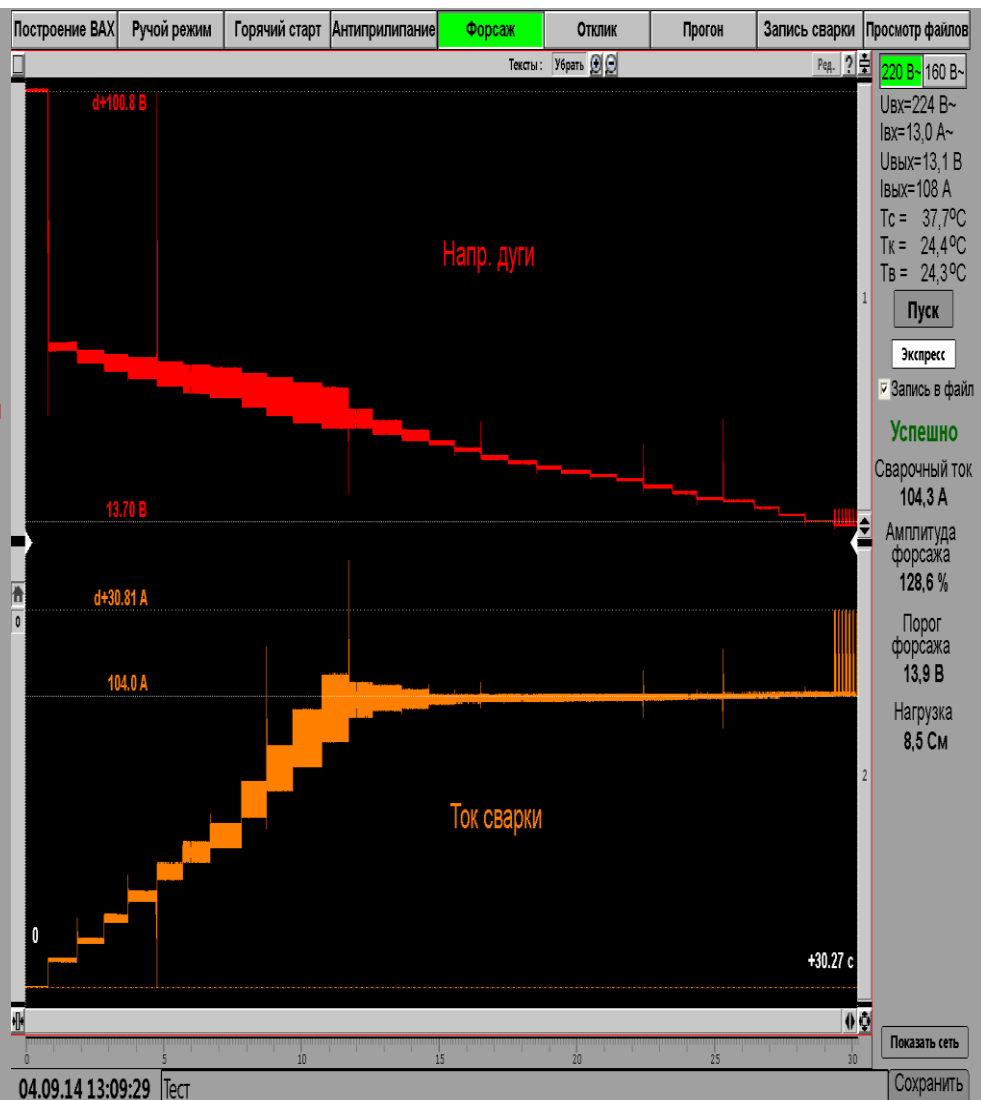
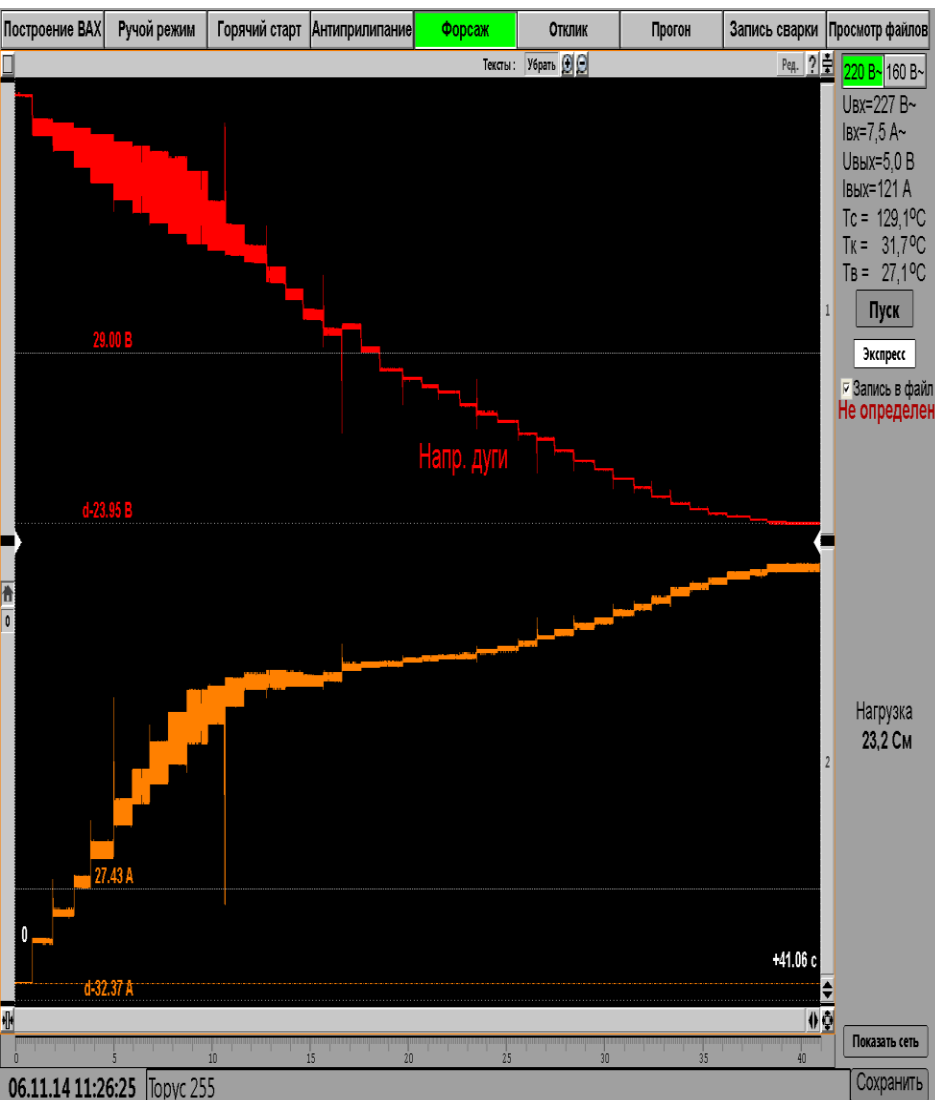
Определение параметров «Форсажа дуги»



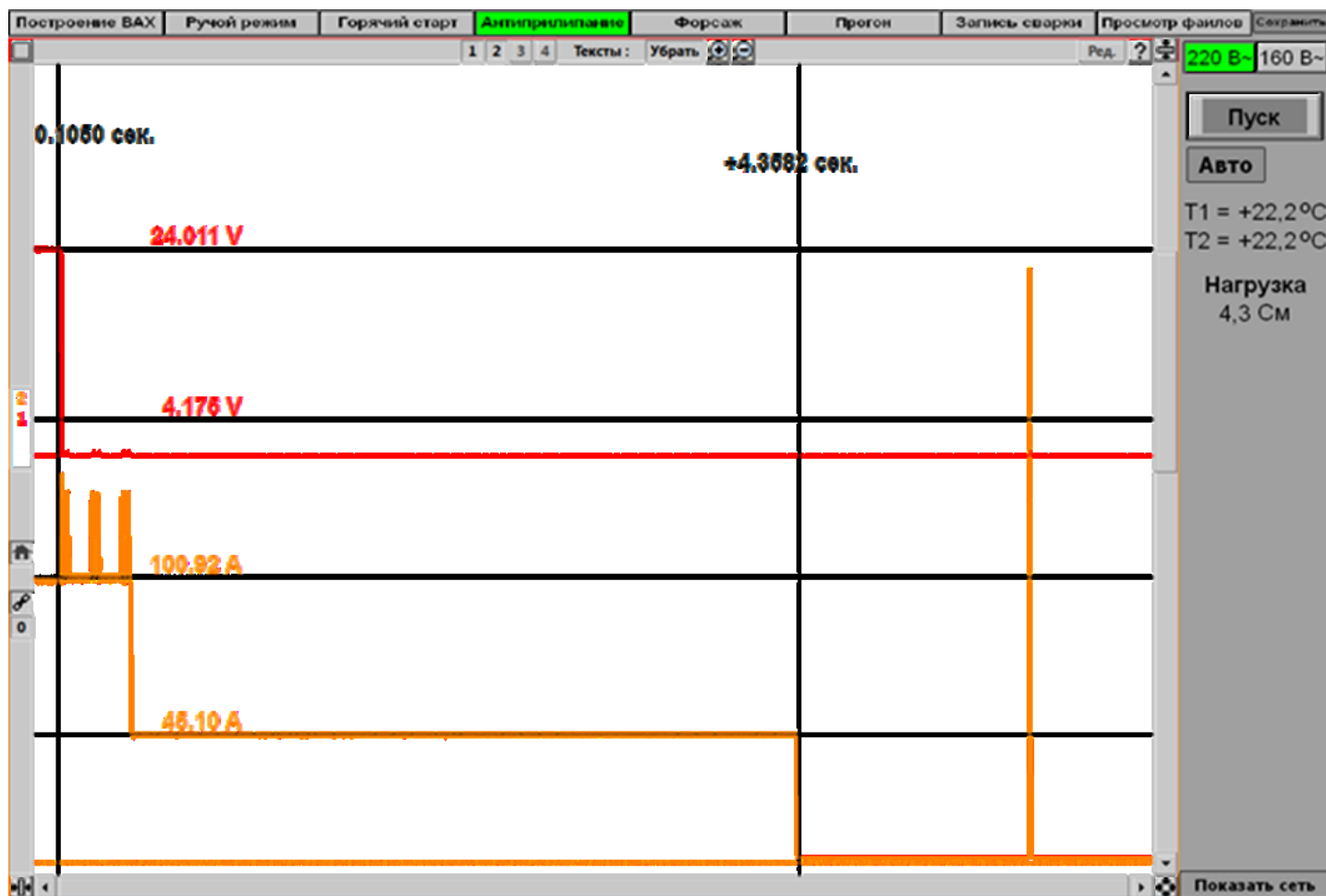
Форсаж дуги

Торус 255

ИНЭУМ 200Т



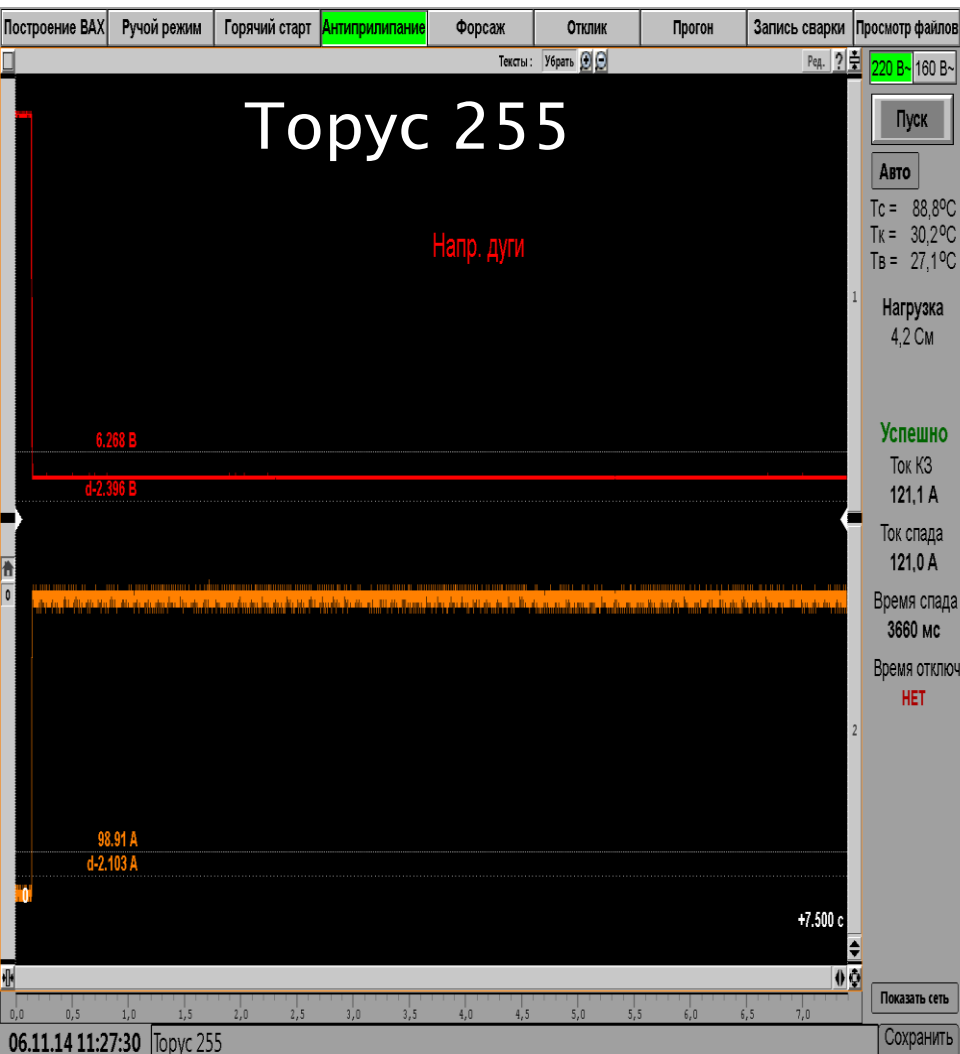
Определение параметров антиприлипания (антистикинга)



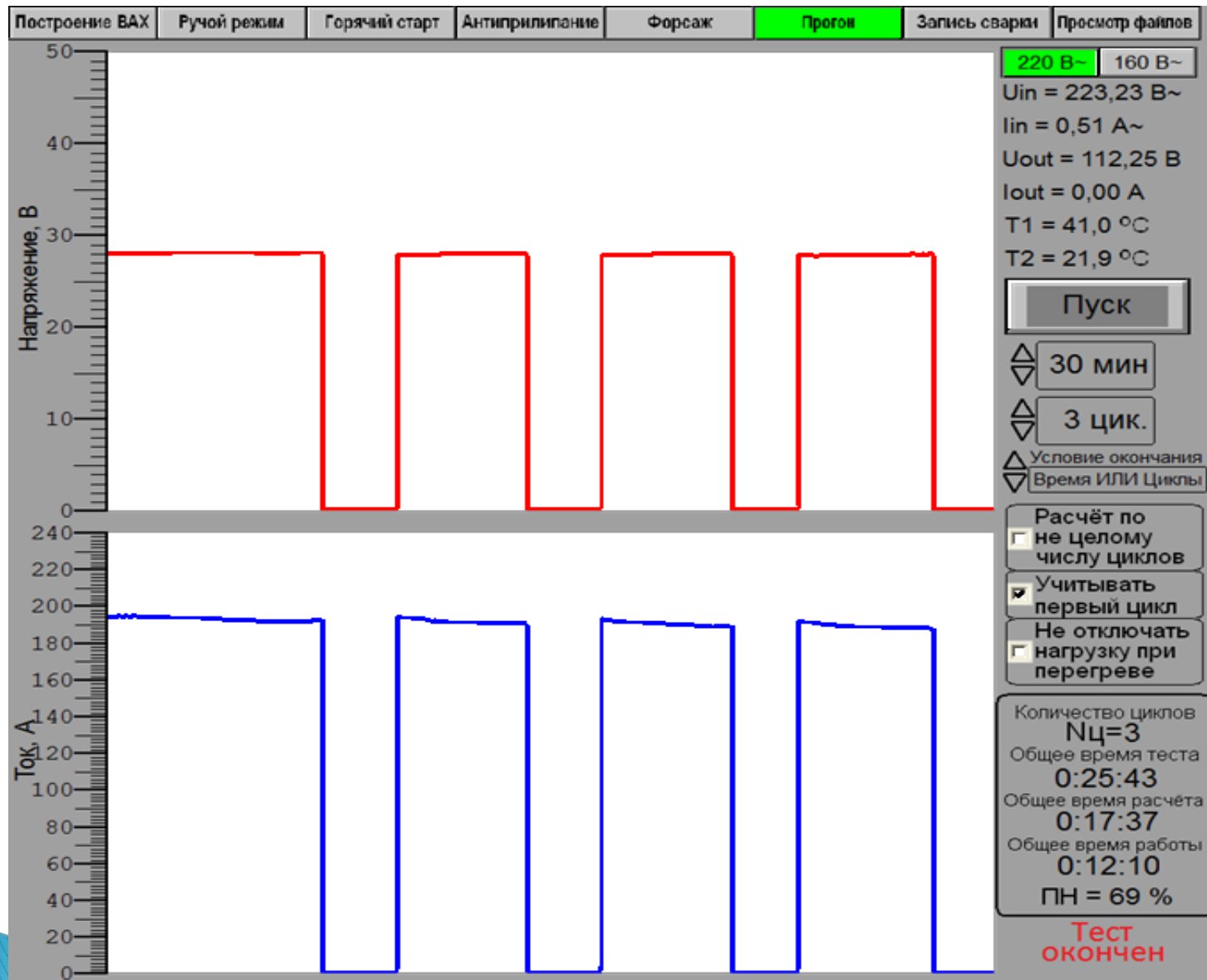
Антиприлипание

Торус 255

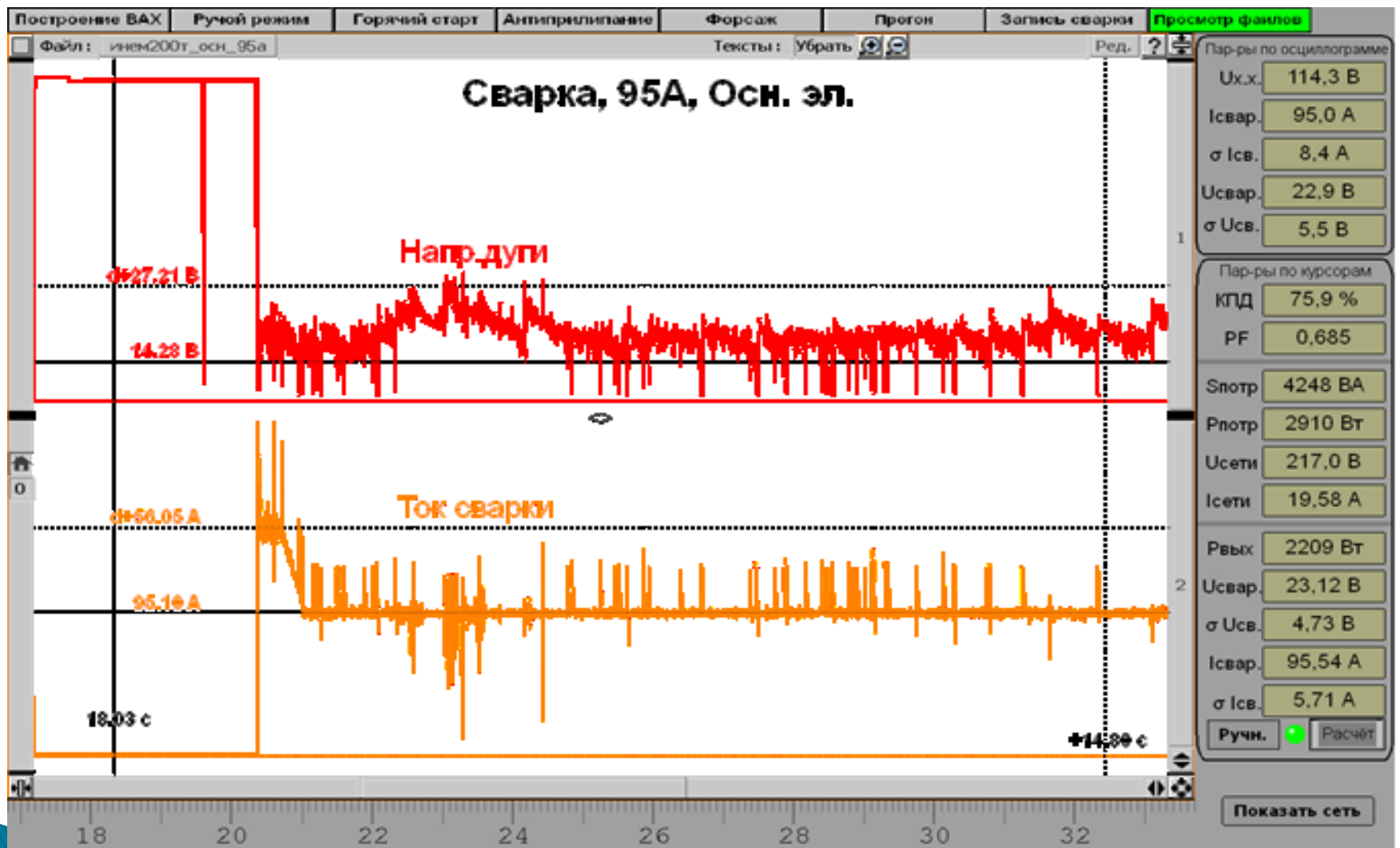
ИНЭУМ 200Т



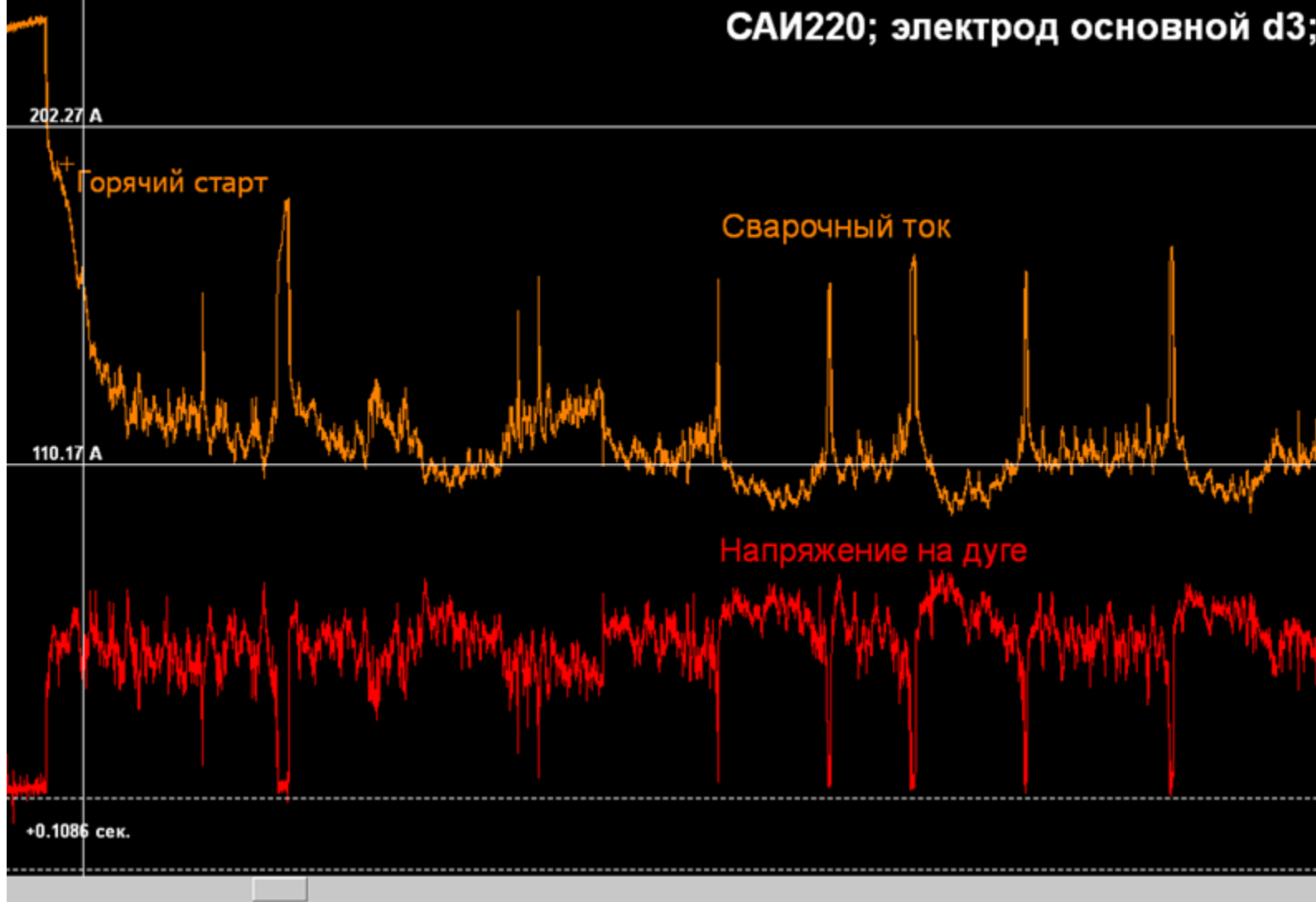
Тестирование сварочных источников под нагрузкой



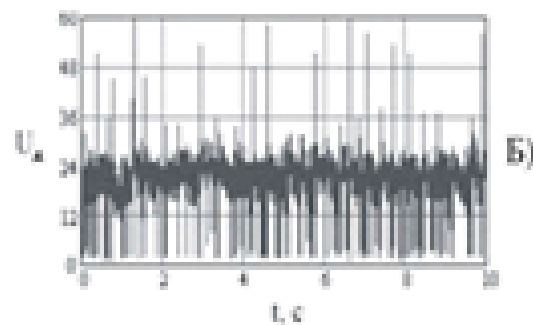
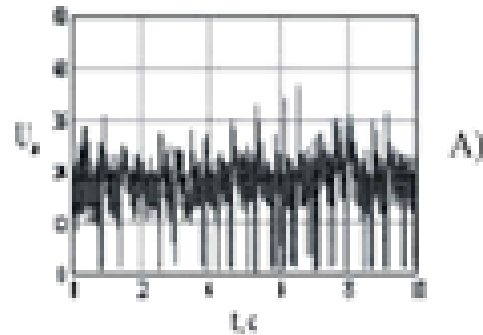
Осциллограммы процесса сварки



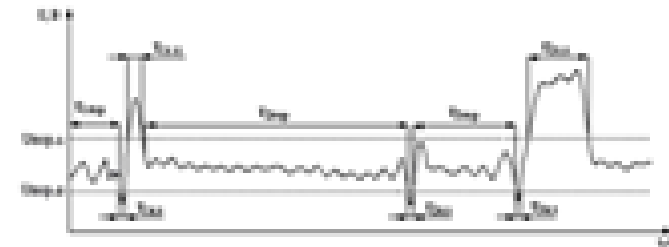
САИ220; электрод основной d3;



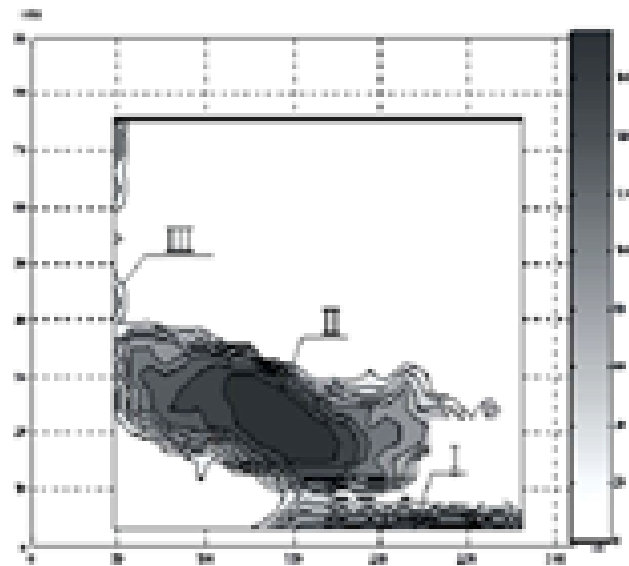
МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ



Осциллограммы напряжения на дуге: а) "Хороший" ИП; б) "Плохой" ИП



Условная реализация дискретного случайного процесса с непрерывным временем

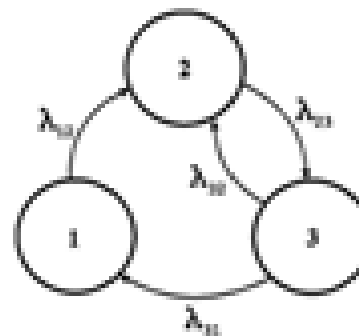


Совместная плотность распределения тока и напряжения

$$g_j(Q) = \lambda e^{-\lambda Q}$$

$$\lambda = \frac{1}{M[T_j]}$$

где Q - остаточное время пребывания Марковского процесса в j -м состоянии; λ - интенсивность



Граф состояний

Интенсивность выхода процесса из различных состояний

Интенсивности выхода процесса из состояния (пер/с)	Для нормально протекающего процесса	Для процесса с отклонениями
Холостого хода $\lambda_1 = \lambda_{12}$ (состояние III)	1225,806	432,900
Горения дуги $\lambda_2 = \lambda_{23}$ (состояние II)	6,752	14,977
Короткого замыкания $\lambda_3 = \lambda_{31} + \lambda_{32}$ (состояние I)	248,619	272,385

Сравнительные характеристики функционалов сварочных инверторных источников питания.

Функция		ИНЭУМ	Selco Genesis– 2000	Stel MAX Pd 201	Lincoln Electric Invertec 2055	EWM PICO–180 2055	Esab Caddi ARC 2011	Fronius Trans pocket –1500 VRD
Максимальный ток		200А	200А	200	200А	180А	170А	150А
Регулировка Горячего старта	Амп	Да	Да	Нет	Да	Да	Да	Нет
	Время	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет
Регулировка Форсажа дуги	Амп	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
	Порог	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
БСН		Да	Да	Нет	Нет	Да	Нет	Да
Регулировка Обрыва дуги		Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Выбор электрода		Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да*
Сварка алюминия		Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Импульсный режим ММА		Да	Нет	Да**	Нет	Нет	Нет	Нет
Защита от 380В		Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Вес		5,5 кг	10 кг	6,3 кг	14 кг	8,9 кг	8,3 кг	4,7 кг
Цена		26500 руб	80000 руб.	36000руб	70000 руб.	53000 руб.	55000руб	32000руб

* – только основной и целлюлозный;

** – только частота

В соответствии со статистическими данными, после обучения в ПТУ только 30–35% из числа прошедших начальную профессиональную подготовку способны выполнять практические работы на уровне 3–4-го разрядов.

Для достижения высокой квалификации у электросварщиков (операторов ручной дуговой сварки – РДС) **уходит 6–9 лет**, причем высокой квалификации достигают только **7–10%** из прошедших начальную профессиональную подготовку.

Но если раньше, при большом объеме подготовленных ПТУ рабочих кадров, число достигших высокой квалификации удовлетворяло требованиям производства, то сейчас **промышленность страны испытывает острый высококвалифицированных сварщиков.**

Причины низкой эффективности подготовки :

- нет поэтапного профессионального отбора, как по психофизиологическим характеристикам перед началом обучения, так и по адаптационным характеристикам в ходе профессиональной подготовки;
- при начальной подготовке недостаточно внимания уделяется формированию практических навыков;
- не учитывается, что объем и скорость формирования профессиональных навыков у разных людей существенно отличаются и поэтому тип и количество упражнений, их сочетание и временной промежуток между повторениями, а также другие компоненты необходимо корректировать в зависимости от индивидуальных характеристик обучаемого;
- оценка текущего уровня профессионального мастерства производится только по результатам сварки контрольных образцов и поэтому не удается своевременно замечать формирование “неправильных” навыков и определять какие из элементов квалификации необходимо совершенствовать;

- не учитываются эргономические и психологические характеристики взаимодействия оператора с технологическим процессом сварки: формирование профессиональных двигательных навыков происходит в условиях значительного уровня помех реального процесса и быстрого утомления зрения, а формирование навыков оценки состояния процесса – при неустойчивых двигательных навыках. В результате это приводит к значительному увеличению сроков и затрат обучения профессиональному мастерству;
- не существует базирующейся на положениях эргономики, психологии и педагогики системы подготовки учебных мастеров, и поэтому результаты начального этапа обучения профессии электросварщика в существенной мере зависят от субъективного профессионально-педагогического мастерства учебного мастера;
- системы совершенствования профессионального мастерства операторов РДС не существует, а **повышение их квалификации происходит случайным образом** в ходе их практической деятельности.

Современные системы подготовки операторов ручного управления

Системы подготовки операторов ручного управления в авиации, космонавтике, атомной промышленности в обязательном порядке предполагают обучение и профессиональный отбор в три этапа с использованием технических средств обучения.

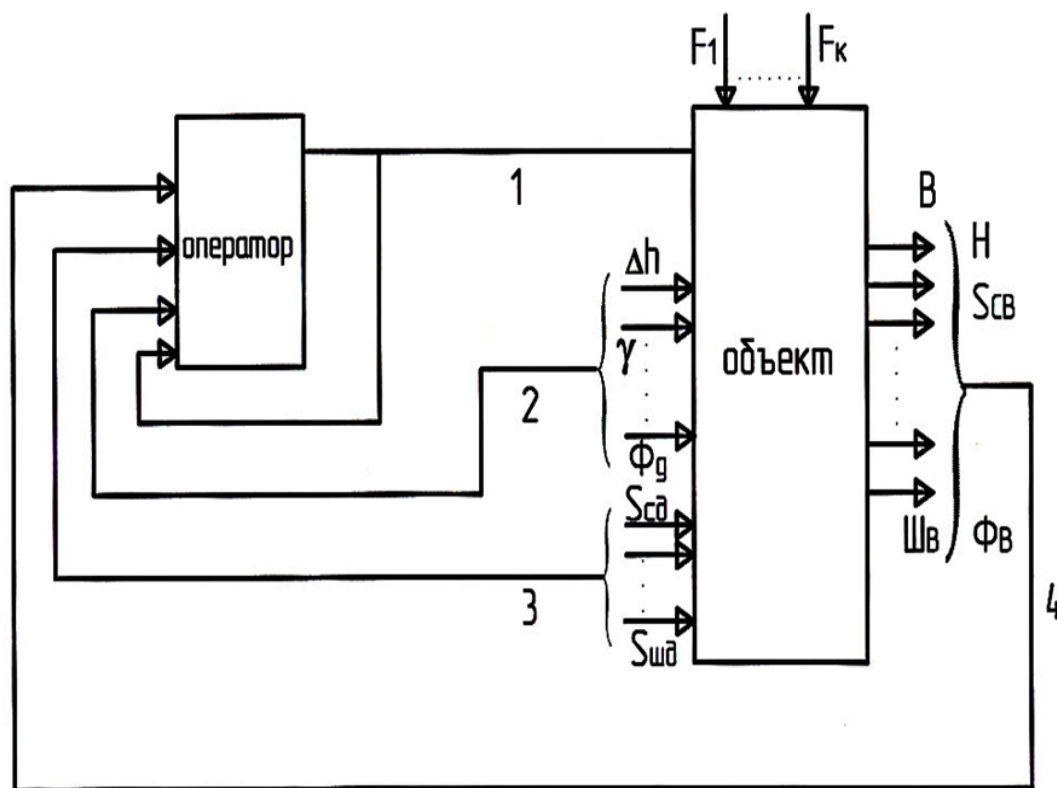
В соответствие с положениями эргономики, психологии и педагогики на первом этапе обучения используются тренажеры с ограниченным объемом зрительной и слуховой информации. На втором этапе – применяют тренажер с дополнительным объемом информации. А на третьем этапе переходят к обучению на тренажере, информационно полностью имитирующим натуральный процесс управления. На всех этапах обучения производится профессиональный отбор.

.

В отличие от указанных видов деятельности, **информационное поле при ручной дуговой сварке имеет натуральный вид** (параметры и контур шва, наличие и положение шлака, пространственное положение и звук дуги и др.) и создается за счет управления длиной дуги, ее положением, траектории и скорости перемещения в пространстве. Причем **стабильность информационного поля определяется стабильностью действий сварщика** (т.е. его квалификацией).

В настоящее время рядом зарубежных фирм (например Линкольн-электрик, Фрониус) разработаны высокотехнологичные модели тренажеров, практически полностью имитирующие реальный процесс. Однако, их использование при **обучении без учета эргономических характеристик способствует** (как и при обучении, только на реальном процессе) формированию устойчивого навыка перегрузки зрения, который затем переносится на реальный процесс, **что способствует закреплению неправильного навыка**. Поэтому, с целью формирования эффективной системы подготовки электросварщиков, было проведено исследование различных характеристик взаимодействия сварщика с процессом.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА-СВАРЩИКА С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ



Информация, используемая операторами РДС

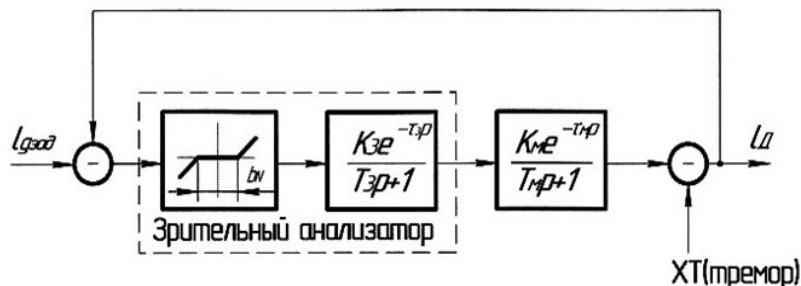
Факторы	Количество операторов									Средний ранг	Усредненная вероятность предпочтения	Удельный вес важности
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Места												
Длина дуги	18	1	3	1	0	0	0	0	1	1,8	0,892	0,202
Размер сварочной ванны	3	8	5	2	2	2	0	2	0	3,3	0,726	0,102
Глубина проплавления	0	1	9	7	2	0	1	3	1	4,44	0,556	0,126
Шум дуги	2	7	0	2	3	0	1	7	2	4,94	0,517	0,116
Положение сварочной ванны относительно кромок	0	2	1	5	4	3	2	5	2	5,58	0,412	0,094
Стык перед дугой	1	0	0	2	2	5	7	4	2	5,63	0,328	0,074
Усиление шва	0	0	2	2	5	5	3	6	1	6,02	0,346	0,078
Положение шлака в ванне	0	2	4	1	2	2	2	1	10	6,29	0,337	0,076
Наличие шлака в ванне	0	3	0	1	3	4	3	4	6	6,35	0,317	0,072

Примеры используемых информационных факторов

Операторы	Порядковые номера используемых факторов
1-й оператор	1, 2, 4, 7, 9
2-й оператор	5, 6, 7, 8, 9

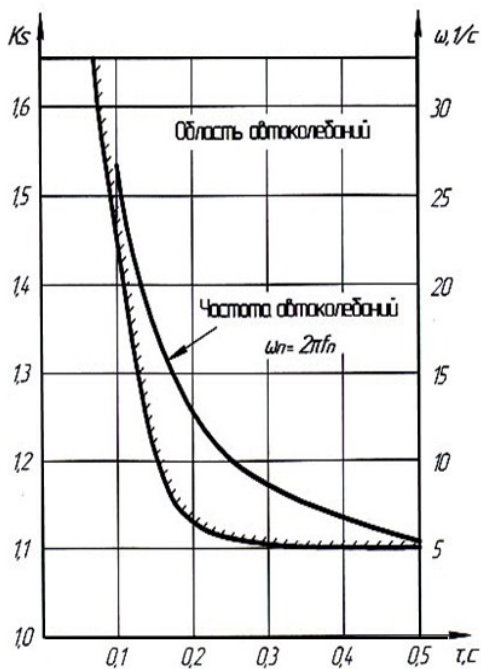
ОПЕРАТОР КАК ЗВЕНО СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

Структурная схема

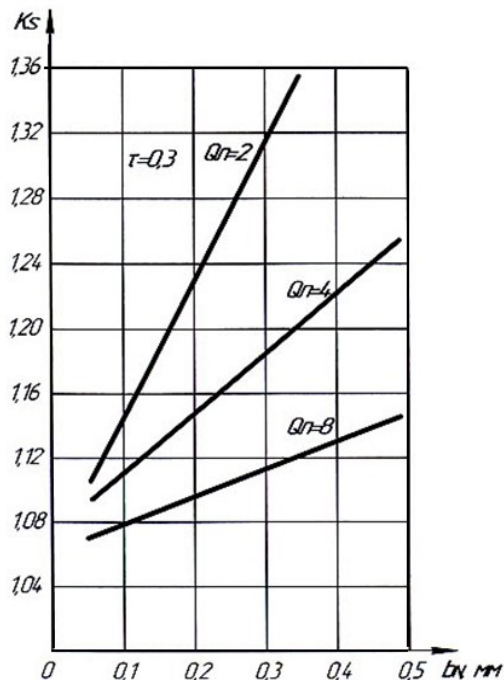


bN - порог нечувствительности; K_3, K_m - коэффициенты передач,
 T_3, T_m - постоянные времени аperiodических звеньев по зрению и слуху;
 ID - длина дуги; XT - тремор.

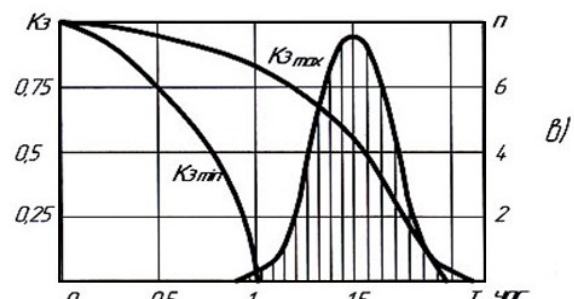
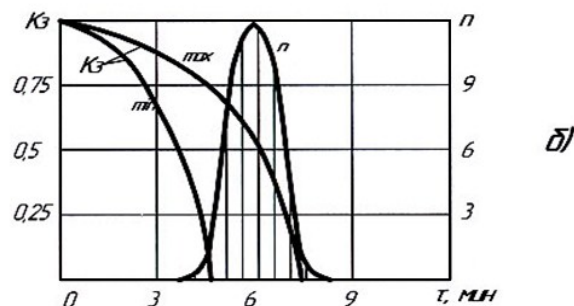
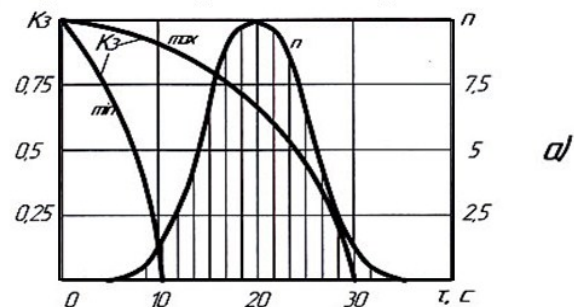
Область и частота автоколебаний



Влияние зоны нечувствительности зрения на амплитуду автоколебаний



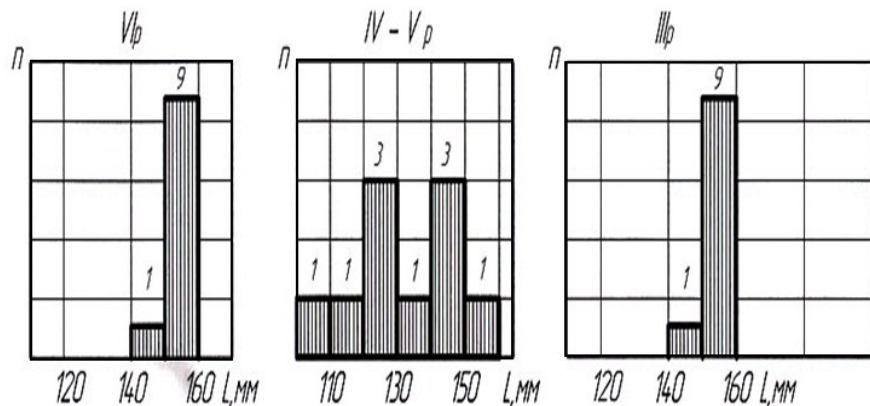
Зависимость утомления зрения при разных режимах работы



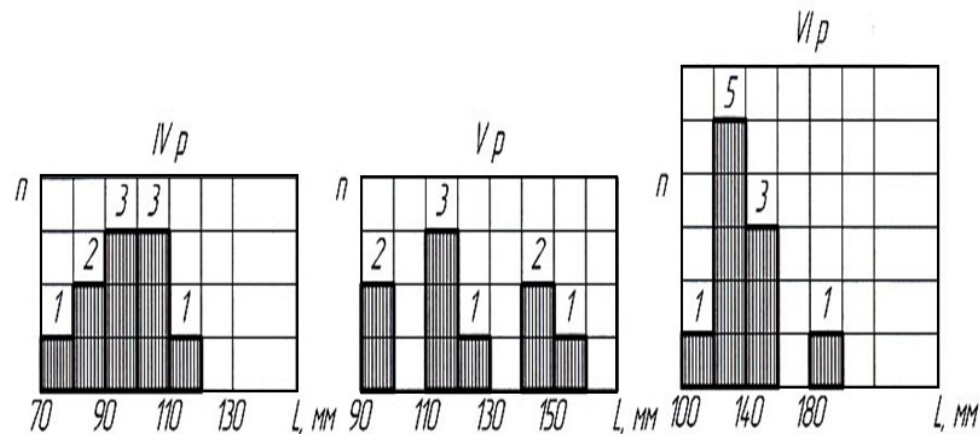
- а) наблюдение за дугой;
 б) чередование наблюдений за дугой и ванной по 10 сек;
 в) чередование 2 мин. работы в режиме б) с 1 мин. отдыха;
 τ - время; K_3 - суммарный коэффициент передачи зрения.

ПРОГРАММНЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

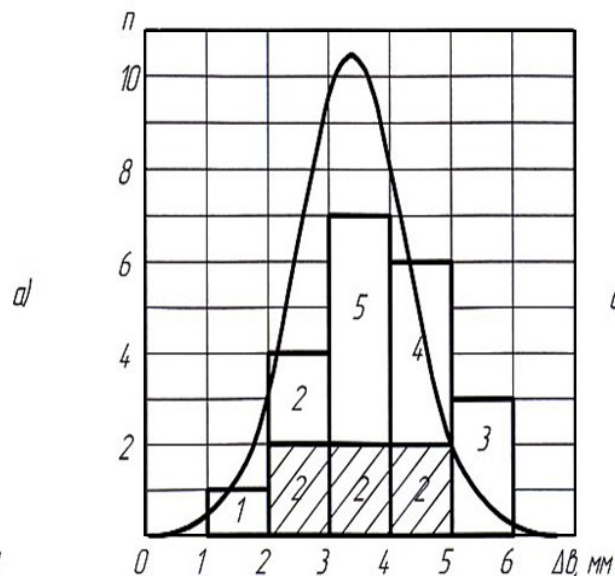
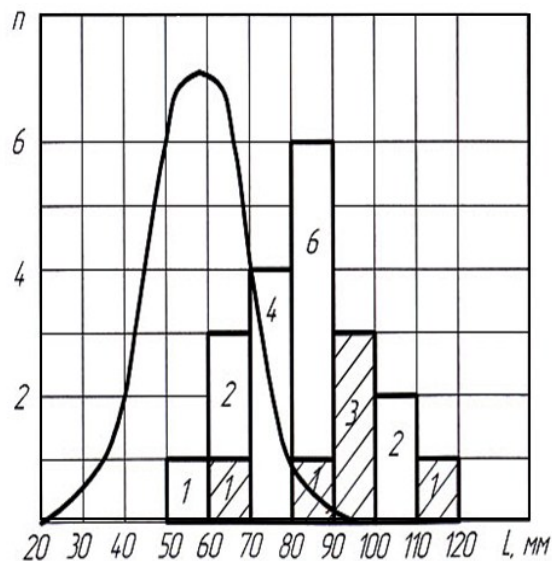
Наплавка валика по прямой



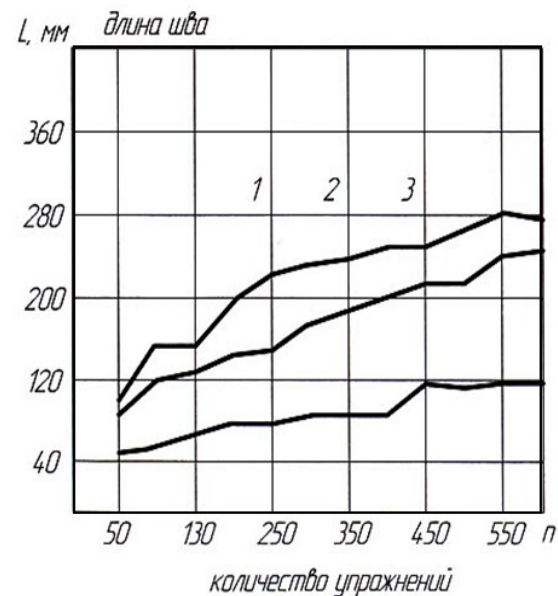
Наплавка валика по дуге окружности



Результаты обучения программным движениям экспериментальных и контрольных групп



Обучение программным движениям



Проведенные исследования показали, что устойчивый навык управления сварочной дугой наиболее целесообразно формировать с использованием тренажерных упражнений в сочетании с упражнениями на реальном процессе. Опыт подготовки нескольких групп электросварщиков показал, что **начинать практическое обучение целесообразно с формирования профессиональных двигательных навыков** при использовании простейшего тренажера. Это позволяло **осмысленно подходить к освоению двигательных навыков** при имитации сварки в различных пространственных положениях.

Кроме того, **при сформированных элементах профессиональных движений**, выполнение закрепляющих упражнений на реальном процессе **сопровождалось устойчивой зрительной и слуховой информацией**, что ускоряло формирование эталонов оценки состояния процесса и способствовало организации оптимального режима работы зрения и слуха. При этом одновременно происходило и обучение навыкам разгрузки зрения, что позволяет вести качественную сварку в течение большего периода времени.

В зависимости от совершаемых ошибок педагогом корректировался состав, количество и тип упражнений, период временной задержки при переходе от одной серии упражнений к другой. Затем определялся коэффициент переноса навыка на реальный процесс. Этот коэффициент имел большой разброс, что свидетельствует о разной способности контингента к освоению профессии оператора РДС, поэтому он использовался при профессиональном отборе. Затем осуществлялся переход к выполнению более сложного упражнения на тренажере, и цикл тренажер – реальный процесс повторялся.

Проведенные исследования влияния различных факторов на эффективность обучения и практика подготовки показали, что всеми указанными выше особенностями подготовки операторов РДС с использованием тренажеров должен хорошо владеть учебный мастер.

Использование тренажеров, психологии, педагогики и профессионального отбора при подготовке электросварщиков позволило **значительно (от 3-х до 10-ти раз**, в зависимости от индивидуальных характеристик обучаемых), **сократить срок их подготовки** при снижении материальных затрат на начальную практическую подготовку.

Но!, для внедрения эффективной системы подготовки высококвалифицированных электросварщиков **необходима подготовка (переподготовка) учебных мастеров** по новой программе, включающей вопросы эргономики, психологии и педагогики.

Кроме того, учитывая, что из произвольно набранной группы **только $\approx 30-35\%$ способны успешно освоить профессию электросварщика**, **необходимо систему их начальной подготовки создавать при многофункциональных центрах обучения по многим профессиям.**