



Модуль измерения температуры  
SmartStat® ST-1

Руководство по эксплуатации



Уважаемый пользователь! Компания Electrochemical Instruments благодарит Вас за приобретение и использование научного оборудования SmartStat. В этом руководстве приведены подробные характеристики модуля измерения температуры ST-1.

Модуль измерения температуры ST-1 позволяет измерять температуру на исследуемом или ином объекте. Датчиком температуры является стандартная термопара К-типа. Пользователь может самостоятельно заменить термопару на другой тип (поддерживается 8 типов) и выбрать его в настройках программы.

Модуль самостоятельно и автоматически рассчитывает и выводит температуру в градусах Цельсия с учетом нелинейности выбранного типа термопары, а также компенсирует температуру холодного спая. Пользователю не требуется обслуживать или калибровать модуль, он поставляется полностью готовым к работе.

Модуль термодатчика расширяет возможности любого потенциостата SmartStat не только до возможности измерения температуры, но он также может контролировать эксперимент в автоматическом режиме по критериям достижения заданных значений температур (останавливать и запускать эксперимент, а также выполнять переходы к шагам программатора и другие действия).

Модуль измерения температуры ST-1 является внешним модулем SmartStat. Он подключается к специализированному интерфейсному входу потенциостата SmartStat. Самостоятельная работа модуля не предусмотрена. Питание модуля осуществляется от потенциостата. В случае многоканального потенциостата, каждый канал может иметь индивидуально подключенный и настроенный модуль.

Уважаемый коллега! Если у Вас возникли вопросы или Вы не нашли, как решить Вашу задачу с использованием потенциостата SmartStat или одного из его модулей, напишите нам. Может оказаться, что задача решается уже имеющимися возможностями прибора. Возможно, она будет решена в ближайшем обновлении прибора или SmartSoft, или ожидает своего воплощения. Также мы готовы рассмотреть объективные, то есть востребованные и детализованные пожелания заказчика. Платформа SmartStat является перспективной и в ней будет еще много программных и аппаратных обновлений и дополнений, значительно расширяющих функциональность.

## Содержание

1.	Основные возможности	4
2.	Характеристики	5
3.	Комплектность поставки	6
4.	Устройство и принцип работы	7

## 1. Основные возможности

Модуль измерения температуры ST-1 обеспечивает следующие основные возможности:

Измерение температуры.

Выбор типа термопары.

Автоматическая компенсация температуры холодного спая.

Автоматический расчет значения температуры с учетом нелинейности выбранного типа термопары.

Гальваническая развязка термопары и обслуживающей ее электроники от потенциостата SmartStat и исследуемого объекта.

Полученное значение температуры может быть использовано как критерий для завершения работы и выполнения одного из следующих действий\*:

- Закончить текущий шаг при определенной температуре,
- Закончить всю работу при определенной температуре,
- Сделать текущий цикл последним при определенной температуре,
- Закончить текущим циклом всю работу при определенной температуре,
- Закончить текущий шаг и перейти к заданному номеру шага программатора при определенной температуре.

Ожидание заданного значения температуры в течение бестоковой выдержки ячейки при потенциале РЦ, с автоматическим переходом к основной работе (циклы ЦВА, спектр импеданса и другие) по достижению этой температуры \*\*.

Ожидание заданного значения температуры в ходе установления (поддержания) постоянного потенциала или тока, с автоматическим переходом к основной работе (циклы ЦВА, спектр импеданса и другие) по достижению этой температуры \*\*.

Имеется возможность программировать критерий температуры: добавлять к параметру температуры определенное (положительное или отрицательное) значение, через заданное количество циклов программатора (либо к температуре-критерию завершения работы, либо к температуре-пределу выдержки ЕРЦ, либо к температуре-пределу выдержки установления) \*\*.

Модуль ST-1 не использует аналоговые Aux входы прямоугольного интерфейсного разъема SmartStat (к которому он подключается), так как данные термопары передаются в цифровом виде. Благодаря этому, внутри модуля эти аналоговые входы выведены на штырьковый разъем и доступны для подключения стороннего оборудования для синхронной оцифровки их аналоговых выходов с данными тока и потенциала.

\* Постоянное измерение температуры в ходе выполнения основной работы невозможно только для импульсных электроаналитических режимов ввиду их требовательности к быстрдействию систем управления потенциостата.

\*\* ожидание же заданной температуры в режиме выдержки ЕРЦ или установления возможно для всех режимов без исключения (как и программируемое изменение температурных пределов этих ожиданий).

## 2. Характеристики

Ниже приведен краткий набор характеристик модуля измерения температуры ST-1.

Таблица 1. Характеристики модуля измерения температуры ST-1.

Характеристика	Значение
Количество каналов измерения температуры	1
Диапазон измерения температуры (зависит от типа термопары)	От -210 °С до +1800 °С
Разрешение по температуре	0.0625 °С
Погрешность измерения температуры	Около 1 °С (с учетом погрешности компенсации холодного спая)
Частота измерения температуры	До 10 раз в секунду
Гальваническая развязка термопары от цепей измерения, питания и управления потенциостата	Присутствует
Типы поддерживаемых термопар	К, J, N, R, S, T, E, В
Питание	12 В, 50 мА, через интерфейсный разъем
Размеры	95x51x25 мм

### 3. Комплектность поставки

Ниже приведена комплектность базовой поставки модуля измерения температуры ST-1.

Таблица 2. Комплектность поставки модуля измерения температуры ST-1.

Наименование	Количество
Модуль – основной блок	1
Термопара К-типа (подключена к модулю и выведена из него)	1
Интерфейсный шнур для подключения к потенциостату	1
Четырехвыводной кабель для подключения к штырьковым аналоговым Aux входам на плате модуля ST-1	1
Руководство по эксплуатации	1
Коробка упаковочная	1

Комплектность поставки и внешний вид прибора могут быть изменены производителем и не отражены в настоящем руководстве.

Серийный номер и наименование прибора нанесены на специальном шильде на его нижней части.

Интерфейсный шнур представляет собой экранированный удлинитель 0.5 м с разъемами типа D-SUB-9. Использование более длинного удлинителя допускается, но может привести к сбоям работы модуля. Использование именно экранированного кабеля в качестве интерфейсного строго обязательно.

**Пожалуйста, не используйте сторонние кабели.** Обратитесь в отдел продаж SmartStat для решения вопросов о специфических кабелях и по вопросам подключения температурного модуля к ячейке и потенциостату.

#### 4. Устройство и принцип работы

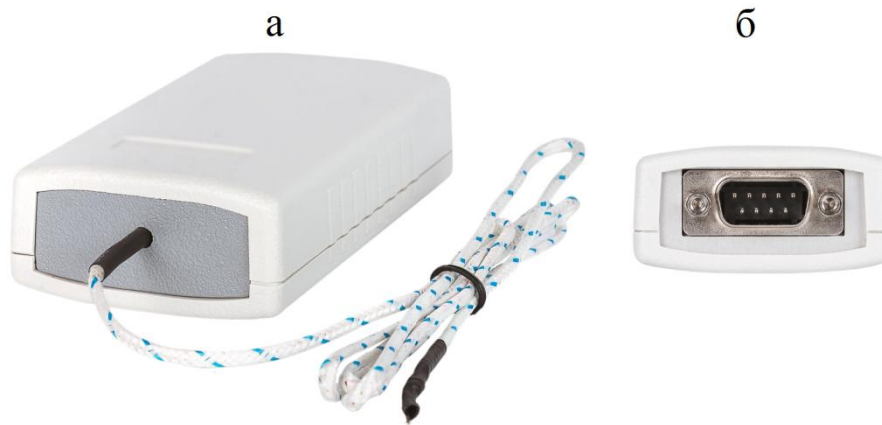


Рис. 1. Внешний вид модуля измерения температуры ST-1. Общий вид – а, вид со стороны разъема подключения к потенциостату – б.

Перед работой с модулем измерения температуры ST-1 (далее - термодатчик), пожалуйста **изучите базовое руководство** по эксплуатации потенциостата. Это снимет ряд потенциальных вопросов подключения модуля и его использования. Не рекомендуем осваивать потенциостат и программу SmartSoft сразу при подключении модуля термодатчика. Это может вызвать затруднения. Рекомендуется сначала освоить работу с потенциостатом без модуля, а потом уже подключить его.

С технической точки зрения, модуль измерения температуры ST-1 является одним из самых простых внешних модулей SmartStat, но несмотря на это, он обеспечивает весьма широкий функционал в плане автоматизации эксперимента, проводимого при варьировании температуры исследуемого образца. Также безусловно, он может быть использован и в более простом режиме – для обеспечения безопасности образца путем отслеживания его температуры.

При необходимости смены термопары нужно аккуратно разобрать модуль, отключить штатную термопару от внутреннего клеммника с нажимными контактами, и соблюдая полярность, подключить другую термопару. С термопары при этом должны быть удалены ее разъемы, если таковые имелись. В клеммник термодатчика ST-1 вставляются непосредственно проволочные выводы термопары.

Проверить термопару имеет смысл еще до завинчивания корпуса термодатчика. Проще всего это сделать, измерив температуру окружающего воздуха, обычно она составляет от 25 до 27 градусов. Если же взять термопару руку и сжать ее в кулаке, то температура поднимется до 36 градусов или чуть выше. Более тонкую проверку можно осуществить с использованием таящего льда, кипящей воды или более сложных устройств с контрольными измерителями температуры.

Для подключения к аналоговым входам, также необходимо разобрать модуль и подключиться к штыревым разъемам внутри него. Сам модуль ST-1 не взаимодействует с аналоговыми Aux сигналами, а просто пропускает их через себя насквозь. Их нельзя будет использовать для



измерения импеданса, но можно использовать для синхронной (с током и потенциалом) оцифровки внешних аналоговых сигналов от другого оборудования. Гальванической развязки по аналоговым сигналам нет. Она есть только на микросхемах обслуживания термопары, чтобы ее можно было безопасно соединять (для обеспечения теплового контакта) с любым токовым электродом или корпусом исследуемого образца. Ток утечки в цепях гальванической изоляции составляет обычно доли наноампер. При использовании шестиэлектродного потенциостата PS-50 (или других шестиэлектродных потенциостатов SmartStat) можно переключить аналоговые Aux входы на его шестиэлектродный электрохимический интерфейс для регистрации спектров импеданса по Aux входам (у остальных потенциостатов SmartStat, аналоговые Aux входы можно подключить только к прямоугольному интерфейсному разъему).

Наличие или отсутствие высокочастотного модуля измерения импеданса FRA никак не сказывается на работе модуля измерения температуры и ведется независимо от его подключения.

Работа модуля ST-1 с приборами или потенциостатами сторонних производителей не предусмотрена (производителями этих приборов).

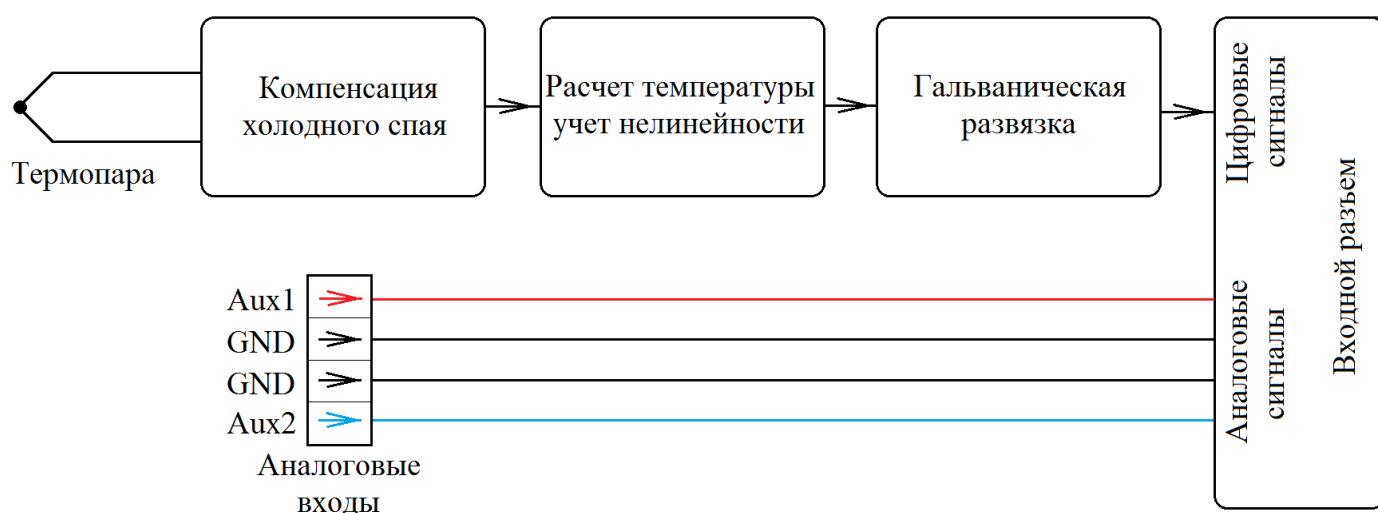


Рис. 2. Блок-схема модуля измерения температуры ST-1.

Модуль ST-1 должен быть подключен к потенциостату (к его прямоугольному интерфейсному разъему Components Interface) в выключенном состоянии. При включении, потенциостат сканирует интерфейсный разъем на предмет подключенных модулей. После этого, он может только отключить его, в случае потери связи с ним, если вдруг модуль будет отсоединен. Новые попытки поиска оборудования на интерфейсном разъеме, предприняты не будут. Если отсоединение произойдет во время ожидания работы потенциостатом, то модуль будет убран из программного интерфейса (не будет более доступен до следующего включения прибора с подключенным модулем). Если же отключение произойдет во время работы с использованием модуля, то работа будет аварийно остановлена. Поэтому рекомендуется использовать фиксирующие винты для надежного крепления

кабеля к прибору и модулю. Однако закручивайте их только усилием руки, чтобы не повредить разъем.

При подключении в программе SmartSoft потенциостата SmartStat с модулем термодатчика ST-1, элементы управления внешними модулями будут выглядеть следующим образом:

- Установленные компоненты:
- Использовать модуль ВЧ импеданса
  - Использовать AUX аналоговые входы
    - Подключить AUX входы к электрохимической ячейке
    - Подключить AUX входы к интерфейсному разъему
  - Использовать термодатчик на универсальном интерфейсе

Рис. 2. Внешний вид элементов программы SmartSoft при подключении потенциостата с термодатчиком.

Используя меню  Использовать термодатчик на универсальном интерфейсе, вы можете включить модуль, при этом в редакторе простых режимов, в дополнение к имеющимся стандартным вкладкам, появится вкладка Термопара:

Основное | Прибор | Запуск | Условия | Множители | R-омическое | **Термопара**

Тип термопары: К (стандарт)

Скорость записи данных температуры: Скорость T-I данных / 10

Ждать в режиме ЕРЦ ожидая температуру > 50 °C  
после этого выдержать ЕРЦ еще 100 с и закончить ЕРЦ  
(нужно включить измерение ЕРЦ до основного режима, с запасом по длительности)

Выполнять установление ожидая температуру > 138 °C  
После этого выполнять установление еще 139 с и закончить установление  
(нужно включить установление, с запасом по длительности)

Закончить текущий шаг при температуре > 250 °C

Не менять критерии температуры 10 °C, через каждые 1 циклов

Рис. 3. Внешний вид вкладки Термопара в редакторе простых рабочих режимов.

Также, при включении модуля в программе, в таблице вывода подробной информации по каждому каналу (если она не отключена, то находится в левой части программы SmartSoft), снизу появится еще одна строка, в которой будет отображаться текущая температура:

Аух Е1	0,031
Аух Е2	0,042
Ячейка	Внутр.Выкл.
Название	0
Температура	29,625

Рис. 4. Таблица вывода подробной информации о состоянии потенциостата с дополнительной строкой отображения текущей температуры на термодатчике.

Во вкладке Термопара прежде всего можно выбрать тип термопары, чтобы модуль автоматически пересчитывал температуру для нее и учитывал ее нелинейность. Следующим параметром является выбор скорости записи данных температуры:

Скорость записи данных температуры

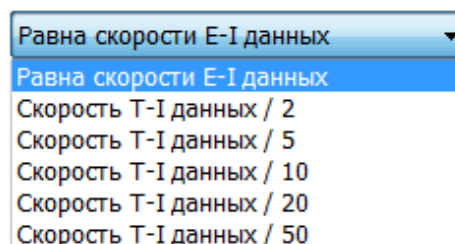


Рис. 5. Меню выбора скорости записи данных температуры.

Несмотря на то, что температура измеряется только до 10 раз в секунду, записывать ее можно синхронно с данными тока и потенциала, или в нужное число раз медленнее, для экономии памяти прибора. Отслеживание же текущей температуры не зависит от этой настройки (как и в случае самих данных тока и потенциала) и происходит несколько раз в секунду. Эта настройка неактивна в случае методов измерения импеданса, а также в импульсных режимах. В них выбор скорости записи температуры осуществляется автоматически (в импедансе примерно одна запись температуры на одну точку постояннотоковых данных или немного реже, а в импульсах – одна запись на один импульс). В импульсных электроаналитических режимах, измерение, запись и регистрация данных температуры во время их выполнения, невозможна.

Работа всех простых режимов (стационарных, разверток, импеданса и других) у потенциостатов SmartStat может сопровождаться предварительными и завершающими стадиями. Управление ими осуществляется из вкладки Запуск в редакторе простых режимов программы SmartSoft. На примере режима ЦВА с двумя циклами, временная диаграмма может выглядеть следующим образом:

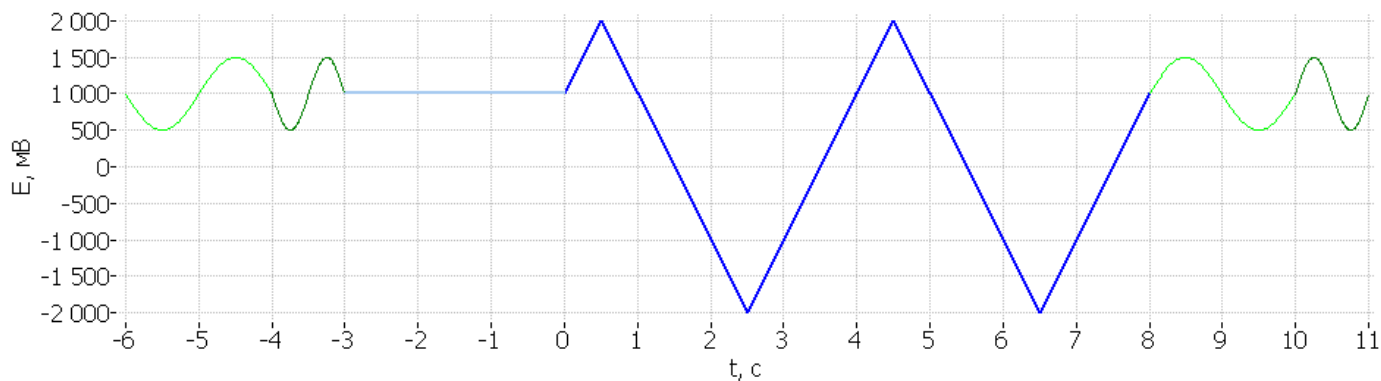


Рис. 6. Пример простого рабочего режима с предварительными и завершающими стадиями.

В SmartSoft выполнение простого рабочего режима максимально может содержать следующие стадии (не все стадии обязательно должны быть включены; в скобках указаны примеры длительностей, соответствующие рис. 6):

1. Светло-зеленый – выдержка при потенциале РЦ до основной работы (2 секунды),
2. Темно-зеленый – измерение потенциала РЦ с усреднением до основной работы (1 секунда),
3. Голубой – установление (выдержка при первом рабочем потенциале – в данном случае развертки, 1000 мВ заданное время - 3 секунды),
4. Синий – два рабочих цикла ЦВА (основная работа), каждый по 4 секунды,
5. Светло-зеленый – выдержка при потенциале РЦ после работы (2 секунды),
6. Темно-зеленый – измерение потенциала РЦ после работы (1 секунда).

Некоторые стадии, кроме основной работы, можно использовать для ожидания заданной температуры на исследуемом образце, для автоматизации эксперимента, в том случае, когда необходимо с помощью потенциостата снять некоторые электрохимические характеристики образца при нескольких температурах, запрограммированная отработка которых выполняется отдельным и независимым нагревательным устройством (например, программируемой печью любого другого производителя, которую программно невозможно связать со SmartStat).

В зависимости от типа исследования, и того, протекает ли оно с регистрациями потенциалов РЦ (например, измерение импеданса аккумуляторов с шагом по температуре), или без отключения ячейки (например, измерение импеданса топливного элемента под постоянной нагрузкой при фиксированном напряжении нагрузки с шагом по температуре), можно использовать те или иные стадии, для ожидания выхода образца на заданную температуру, чтобы само измерение (развертку ЦВА или измерение спектра импеданса) выполнять при достигнутом и установившемся заданном значении температуры.

Первый вариант автоматизации эксперимента состоит в использовании выдержки образца при потенциале РЦ до основной работы (в стадии 1). Для этого служат следующие настройки:

<input checked="" type="checkbox"/> Ждать в режиме ЕРЦ ожидая температуру	>	50	°C
после этого выдержать ЕРЦ еще		100	с и закончить ЕРЦ
(нужно включить измерение ЕРЦ до основного режима, с запасом по длительности)			

Рис. 7. Настройки ожидания заданной температуры в режиме РЦ (на стадии 1).

Для работы этой опции необходимо включить функцию измерения потенциала РЦ до начала основной работы во вкладке Запуск. При этом выдержку перед измерением в этой вкладке нужно задать с запасом по времени. Порядок работы будет выглядеть следующим образом:

- Пользователь запускает работу потенциостата и независимого нагревателя.
- Потенциостат начинает работу с выдержки ЕРЦ.
- Сторонний нагреватель начинает выходить на заданную температуру.
- Как только ожидаемая температура  °C будет зарегистрирована термомодулем потенциостата, начнется отсчет дополнительного времени после этого выдержать ЕРЦ еще  с и закончить ЕРЦ, которое необходимо для стабилизации температуры на образце (зависит от типа и устройства нагревателя).
- Выждав это время, прибор перейдет сначала к стадии 2 (измерения ЕРЦ), если она есть, затем к стадии 3 (установления, уже под током или потенциалом) если она есть, а затем к стадии 4 основной работы.
- При использовании единичного простого режима работы, эксперимент на этом будет завершен. Нагревательное устройство должно выдерживать заданную температуру с некоторым запасом по времени, чтобы рабочий электрохимический эксперимент успел завершиться.

Аналогичные действия можно выполнить, но уже дожидаясь заданной температуры на стадии 3 (установления) при включенной ячейке под постоянным подготовительным потенциалом или током:

<input type="checkbox"/> Выполнять установление ожидая температуру	>	138	°C
После этого выполнять установление еще		139	с и закончить установление
(нужно включить установление, с запасом по длительности)			

Рис. 8. Настройки ожидания заданной температуры в режиме установления (на стадии 3).

Для того, чтобы снять температурную зависимость для какого-либо электрохимического параметра (например, спектра импеданса или ЦВА) обычно нагревательное устройство (например, печь или термостат) программируют таким образом, что последовательно отрабатываются определенные значения температур, начиная с некоторого стартового значения, заканчивая конечным, с некоторым шагом по температуре. Для автоматизации такого эксперимента, у термодатчика служит следующий набор настроек:

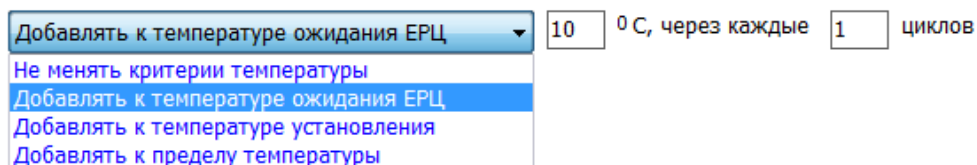


Рис. 9. Настройки программируемого изменения температурных пределов.

Обычно ожидание температуры ведется в каком-то одном режиме, либо при выдержке ЕРЦ, либо при установлении. Пользователь может запрограммировать изменение значения ожидаемой температуры либо для ожидания в режиме ЕРЦ, либо в режиме установления с помощью выпадающего меню на рисунке выше (третий вариант – предел температуры, будет рассмотрен позже, так как к рассматриваемой автоматизации эксперимента он не относится).

Пользователь может задать шаг по температуре, а также то, через сколько циклов программатора его необходимо изменить. В этом случае, работа всей установки может например, выглядеть следующим образом (все значения выбраны умозрительно): независимый нагревательный элемент обрабатывает заданный набор температур, начиная от 100 градусов, заканчивая 150 градусами, с шагом в 10 градусов, всего 6 значений: 100, 110, 120, 130, 140, 150. При этом ему требуется 5 минут для выхода на заданную температуру. Потенциостат же должен измерить спектры импеданса на подключенном к нему, нагреваемом образце, при каждой температуре. Допустим, ожидать температуру планируется в режиме РЦ. Допустим, потенциостату для регистрации спектра импеданса требуется 10 минут. В этом случае, пользователь программирует независимый нагреватель так, чтобы он выдерживал заданную температуру заметно более 10 минут, скажем 20 минут. В этом случае целесообразно дать устояться достигнутой температуре хотя бы 5 минут, перед началом развертки частоты (а может и больше, зависит от геометрии и типа образца, чтобы он успел прогреться и температура в нем уравнилась). Длительность выдержки ЕРЦ (в панели Запуск) в этом случае необходимо задать больше 5 минут (напомним, это время необходимо нагревателю, чтобы выйти на заданную температуру), скажем 15 или лучше 20 минут. В качестве шага по температуре, термодатчику потенциостата тоже нужно задать 10 градусов, и зациклить создаваемый рабочий шаг измерения импеданса в программаторе SmartSoft на 6 циклов. В таком эксперименте, нагреватель будет выходить на заданную температуру начиная с первого значения 100 градусов. Потенциостат при этом будет ожидать температуру в режиме РЦ. Как только температура будет достигнута, потенциостат добавит еще 5 минут на ее уравнивание, и после этого выполнит регистрацию спектра импеданса. После этого, температура продолжит держаться с запасом еще некоторое непродолжительное время, после чего нагреватель перейдет к следующей температуре. Потенциостат же, закончив предыдущий спектр при первой температуре, перейдет к циклу 2, на котором температура ожидания в режиме ЕРЦ составит уже 110 градусов. Таким образом, последовательно будет снята вся температурная зависимость. Удобство работы в данном случае состоит в полной автоматизации эксперимента и том, что нагреватель и потенциостат никак не связаны с собой, кроме термопары модуля измерения температуры SmartStat. То есть можно

применить абсолютно любой нагреватель. Некоторым недостатком является то, что нужно с запасом выставлять времена, а также потребуются откалибровать установку по положению термопары. В программаторе можно использовать несколько шагов, например варьируя от шага к шагу постоянноточковые параметры в режиме измерения импеданса, или скорость развертки для ЦВА, или вообще каждому шагу можно задать свой постоянный потенциал и снять таким образом набор стационарных ВАХ при для каждой температуры (нагреватель при этом должен будет держать температуру с запасом с учетом длительности выполнения всех шагов. Ожидание температуры необходимо только в первом шаге, остальные шаги могут и вовсе работать без стадии выдержки ЕРЦ, если она им не нужна по их смыслу).

Еще одной настройкой термодатчика, является температурный предел:

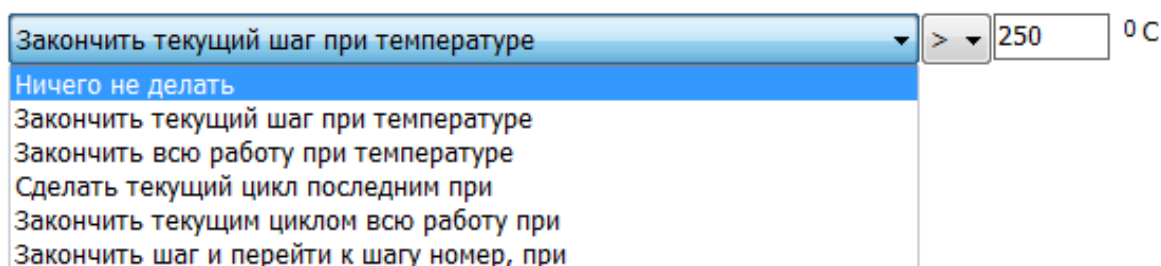


Рис. 10. Настройки температурного предела.

Пользователь может выбрать температурный предел и привязать к нему действие, наподобие критериев завершения работы по потенциалу, току или заряду в панели Условия, но теперь по условию температуры. Эта настройка может использоваться как аварийный остановщик всего эксперимента (закончить всю работу при температуре), или опять же для программирования работы при нескольких температурах (закончить текущий шаг при температуре). Температурный предел можно менять от цикла к циклу в программаторе с помощью ранее рассмотренной функции (программируемого изменения температурных пределов на рис. 9).

При проведении эксперимента с измерением температуры, в зарегистрированных данных появляется дополнительная категория данных, соответствующих температуре. Эти данные программа SmartSoft выводит на дополнительной диаграмме, расположенной ниже основной диаграммы (чтобы можно было видеть синхронные изменения по времени):

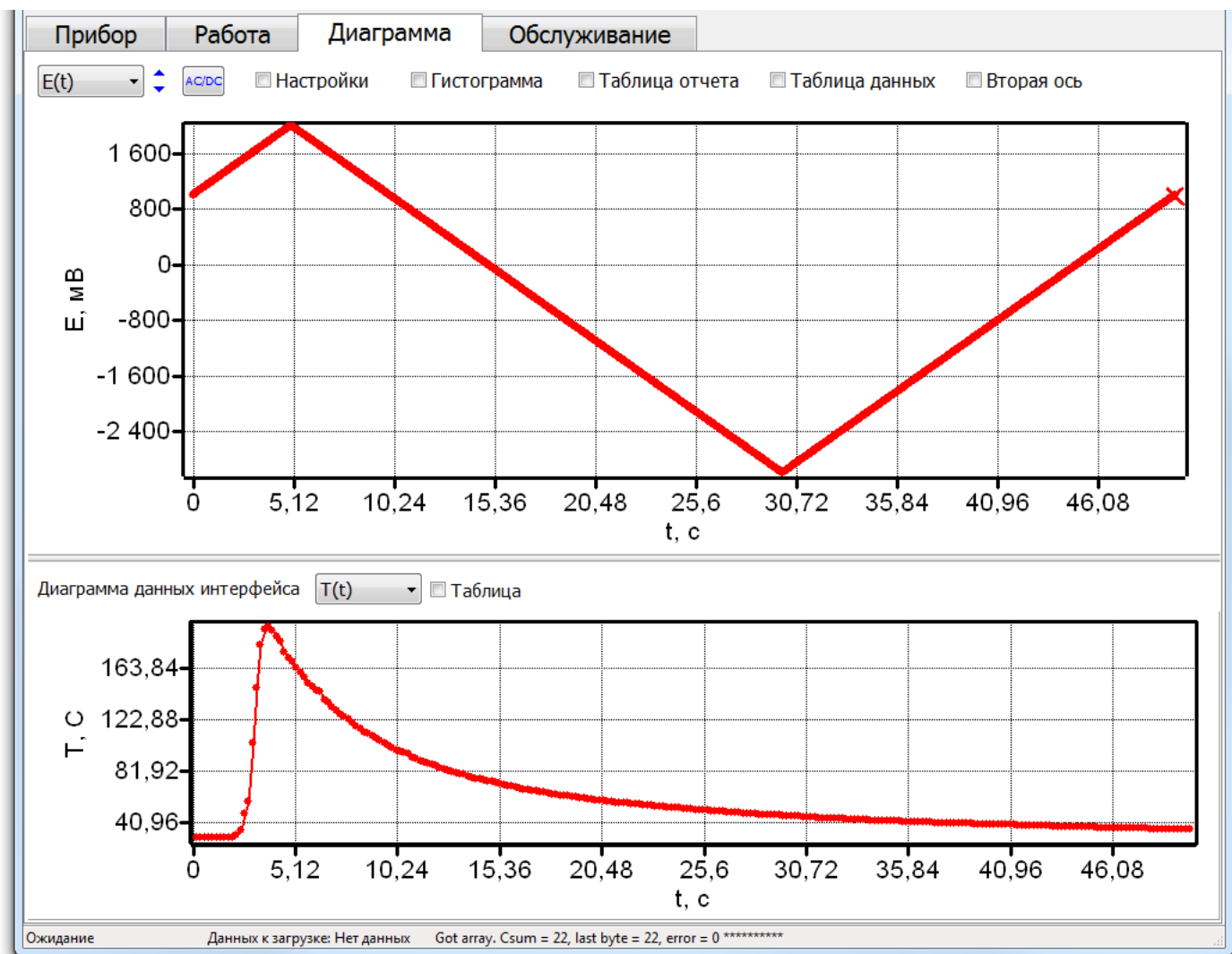


Рис. 11. Внешний вид вкладки Диаграмма программы SmartSoft при наличии зарегистрированных данных температуры.

Для дополнительной диаграммы можно включить таблицу с выводом ее значений, из которой данные температуры можно сохранить в текстовый файл или скопировать для сторонней обработки. После автоматического или ручного сохранения данных тока и потенциала в файл edf, данные температуры также будут сохранены в него для последующего просмотра и обработки.



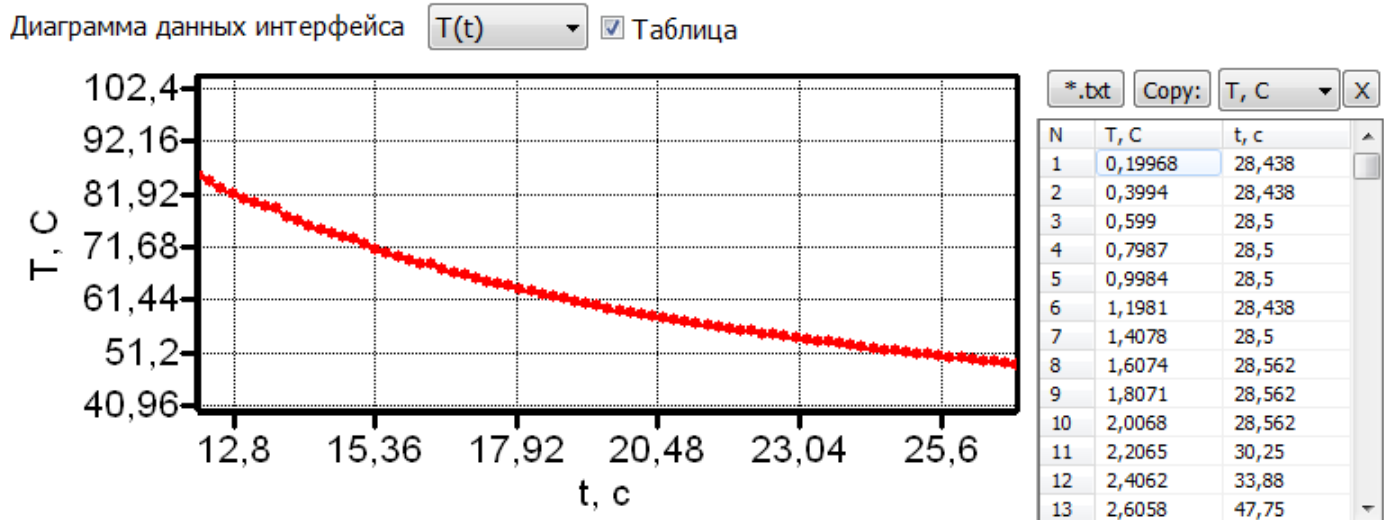


Рис. 12. Внешний вид диаграммы отображения температуры с таблицей вывода данных.

Также стоит упомянуть некоторые особенности работы с термодатчиком:

1. Первая особенность состоит в том, что регистрация данных температуры, а соответственно и реагирование на ее пределы, невозможно в ходе выполнения импульсных электроаналитических режимов, так как они очень требовательны к быстрдействию схем управления прибора. Однако, в их дополнительных стадиях - выдержки ЕРЦ и установлении, отслеживание температуры возможно со всеми, связанными с ней действиями.
2. Если вы используете сохраненные параметры рабочих режимов или файлы программатора, не использующие настройки термодатчика, то параметры термодатчика будут заменены на заводские при открытии их с потенциостатом, оснащенными термодатчиком. Также, если вы отключили в программе SmartSoft использование термодатчика, создали рабочую программу, а уже потом его включили, то параметры термодатчика будут заменены на заводские.

**Пожалуйста, проверяйте параметры термодатчика перед запуском работы.**

3. Термодатчик измеряет температуру до 10 раз в секунду. Данные же тока и потенциала у потенциостатов SmartStat могут регистрироваться до 2000 раз в секунду. В некоторых случаях удобно, когда данные температуры записаны синхронно с данными тока и потенциала, хоть в этом и нет физической потребности, так как частота измерения температуры может оказаться в 200 раз ниже частоты измерения тока и потенциала. В этом случае на диаграмме могут проявляться характерные ступеньки из повторяющихся значений температуры, если она быстро менялась в ходе эксперимента.

Высокоточное оборудование для электрохимических исследований

SmartStat®

Изготовитель: Electrochemical Instruments

Россия, Московская область, г. Черноголовка

Телефон: 8(495)720-31-57

Адрес тех. поддержки: [potentiostat@mail.ru](mailto:potentiostat@mail.ru)

[www.smart-stat.ru](http://www.smart-stat.ru)