

# ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫМ ЭТАЛОНОМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Горбылев А.А., Гривастов Д.А.  
ФГУП «СНИИМ»

До настоящего времени аппаратура для воспроизведения реперных точек температурной шкалы представляла собой набор автономных установок, обязательно требующих непосредственного присутствия оператора, по крайней мере, для контроля за их функционированием и для выполнения измерений. Современный уровень развития техники позволяет минимизировать присутствие оператора, переложив функции мониторинга и управления объектами на машинный интеллект, а также устранить влияние оператора на результаты измерений, сняв с него функцию выполнения измерений.

В ФГУП «СНИИМ» разработана интегрированная программно-аппаратная система управления аппаратурой вторичного эталона единицы температуры, позволяющая осуществлять дистанционный контроль и управление процессами воспроизведения реперных точек температурной шкалы, а также измерений характеристик градуируемых термометров и автоматическую обработку результатов измерений.

Доступ оператора к аппаратуре эталона осуществляется по локальной компьютерной сети или из сети Интернет через выделенный прокси-сервер. Контроль и управление происходит в реальном времени.

Программная часть системы реализована с использованием только свободно-распространяемого программного обеспечения, имеет клиент-серверную архитектуру, в которой протокол обмена между сервером данных и программными компонентами, взаимодействующими с аппаратурой или пользователем, исключает возникновение ситуаций «ожидания ответа», которые могут привести к нарушению нормальных процессов функционирования эталона.

Аппаратная часть системы включает автоматизированные коммутаторы измерительных сигналов, программно-управляемые средства измерений электрических величин, а также измерители температуры, блоки цифроаналоговых преобразователей и усилителей мощности в составе автоматизированных установок воспроизведения реперных точек.

Система реализована и успешно функционирует в ФГУП «СНИИМ» при воспроизведении реперных точек температурной шкалы эталона ВЭТ-34-27-99.

Существует несколько направлений, в которых происходит развитие систем управления объектами и процессами. Некоторые из этих направлений стали доминирующими в определённых областях. Так, выпускается большое количество электронных регуляторов на основе микропроцессоров (микроконтроллеров), автономно выполняющих задачи регулирования и прочно занявшие нишу управления промышленными технологическими процессами с небольшим количеством параметров и несложными законами управления. Для управления сложными процессами в рамках агрегатов или даже целых предприятий в настоящее время практически всегда используются системы управления типа SCADA, обладающие значительной вычислительной мощностью. Промежуток между этими крайними направлениями плотно заполнен системами управления с разными пропорциями узкой специализации, характерной для автономного микропроцессорного регулятора, а также масштабируемости и гибкости настройки, характерных для систем SCADA.

Рассматривая область управления установками для воспроизведения реперных точек температурной шкалы и процессами измерений, выполняемых на вторичных эталонах единицы температуры, можно отметить, что по совокупности экономических факторов и требуемой эффективности системы управления оптимальный выбор решения находится где-то посередине: бюджет хозрасчётного научно-исследовательского метрологического института не позволяет провести внедрение, не говоря уже о собственной разработке, «полновесной» системы SCADA, а возможности недорогих микропроцессорных регуляторов и программируемых логических контроллеров (ПЛК) оказываются недостаточными для решения поставленных задач.

Прототип используемой в настоящий момент ФГУП «СНИИМ» системы управления вторичным эталоном температуры был создан более четырёх лет назад. С тех пор было выпущено несколько реализаций, опыт внедрения которых позволял глубже

вникать в тонкости взаимодействия программно-аппаратных компонентов в реальном времени и посредством этого совершенствовать функциональные характеристики системы.

В основе системы управления лежит клиент-серверная архитектура программного обеспечения. Выбор архитектуры продиктован необходимостью решения задачи управления в реальном времени. Структура системы в режиме управления установками для воспроизведения реперных точек температурной шкалы показана на рисунке 1, в режиме управления измерением сигналов термопреобразователей – на рисунке 2. Центральное место в архитектуре занимает программный компонент – сервер, единственной задачей которого является немедленное обеспечение требуемой информацией других программных компонентов – клиентов. Сервер представляет из себя мини-программу, работающую как простой конечный автомат с двумя функциями – сохранения переданной информации во внутренних буферах и передачи сохранённой информации по запросу. Перед сохранением сервер добавляет к полученной информации метку системного времени, так что клиент, получив от сервера ответ на свой запрос, имеет представление об актуальности полученной информации. Некоторые из буферов выделены для того, чтобы хранить результаты измерений и расчётов, другие – чтобы транслировать внутри системы команды управления.

Программные компоненты-клиенты можно разделить на три основных класса – драйверы блокирующих устройств, фоновые и интерактивные компоненты.

Драйверы блокирующих устройств обеспечивают взаимодействие и обмен информацией с аппаратными устройствами системы, требующими неопределённого времени ожидания поступления от них данных. До получения информации от аппаратного устройства такой драйвер находится в состоянии ожидания, а при получении немедленно передаёт её серверу. В системе к таким драйверам относятся драйвер измерителя температуры и драйвер нановольтмикровоомметра.

Фоновые компоненты с заданной периодичностью (1..5 с в зависимости от задачи, решаемой компонентом) опрашивают сервер и, при обнаружении поступления новой информации, считывают её с сервера, производят обработку, а затем отправляют результаты обработки обратно серверу. Так работает, например, программный регулятор температуры. Этот компонент считывает из сервера результаты измерений и уставки температуры, вычисляет в соответствии с заданным алгоритмом величину выходного воздействия, а затем передаёт результаты вычислений серверу, чтобы другой программный компонент – драйвер цифроаналогового преобразователя (ЦАП), считал их и сформировал посредством усилителей мощности соответствующее воздействие на исполнительный элемент – нагреватель печи. Кроме регулятора температуры к фоновым компонентам относятся генератор графики, драйвер ЦАП и драйвер коммутатора измерительных сигналов (КИС), а также частично веб-интерфейс, поскольку его управляющий сценарий содержит код, обеспечивающий автоматическое периодическое обновление данных и графиков на экране пользователя.

Интерактивные компоненты находятся в состоянии блокирующего ожидания команды оператора, после получения которой передают связанную с командой информацию серверу. Единственный интерактивный компонент системы — веб-интерфейс.

Упрощенная диаграмма взаимодействия программных компонентов проиллюстрирована на рисунке 3, где стрелками показано направление передачи информации в системе при управлении установкой «Цинк».

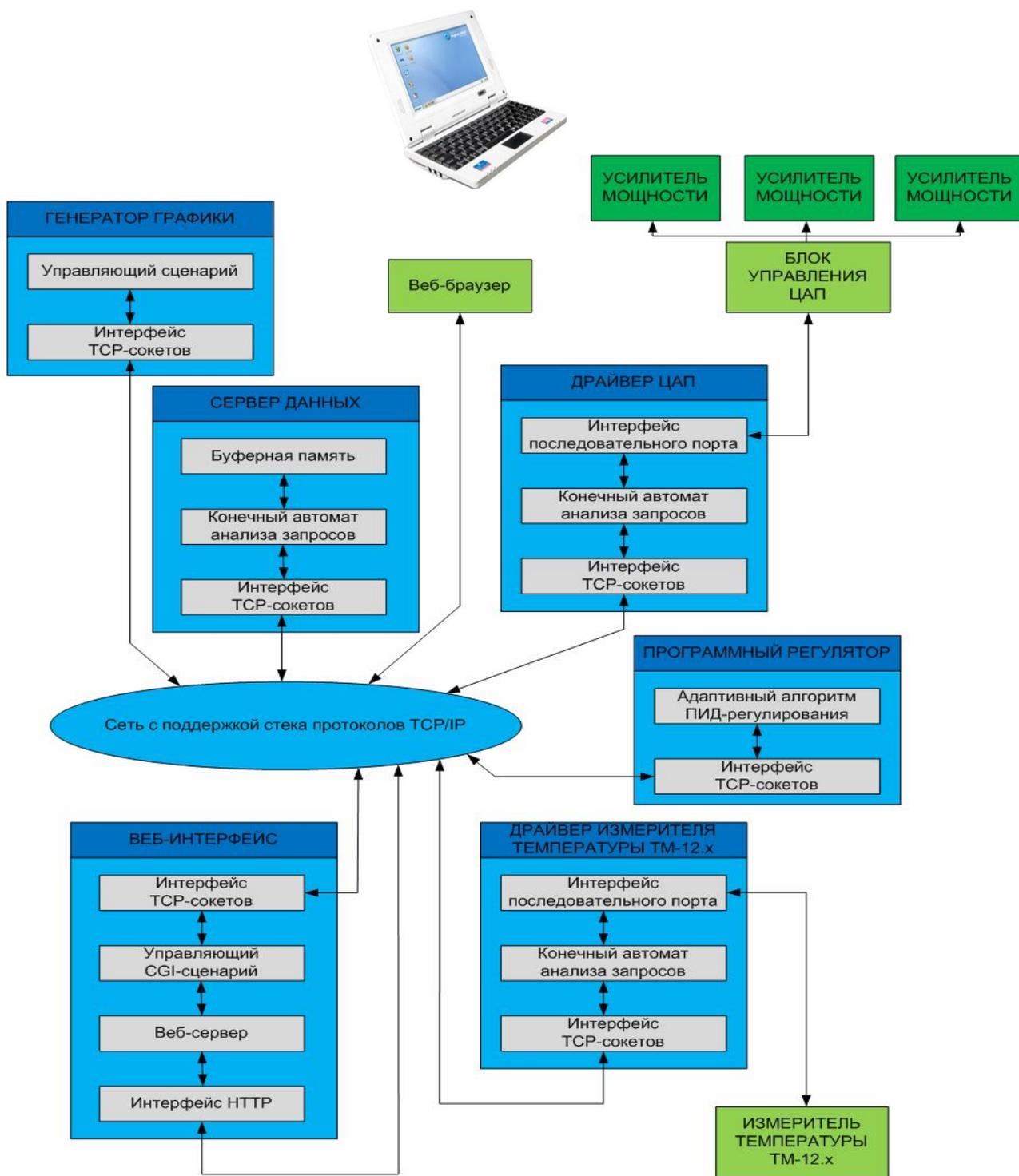


Рисунок 1 – Программно-аппаратная структура системы в режиме управления установками для воспроизведения реперных точек температурной шкалы

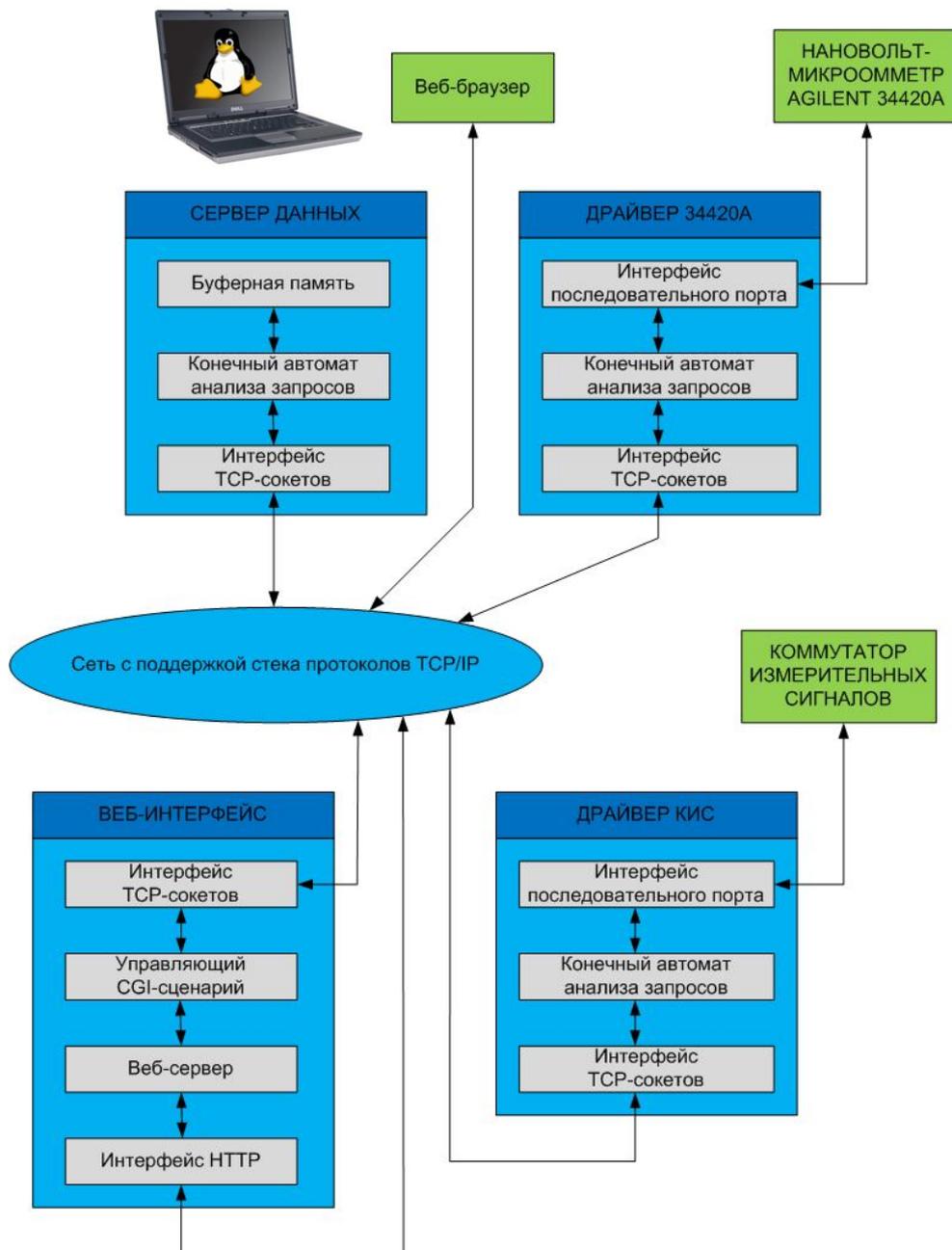


Рисунок 2 – Программно-аппаратная структура системы в режиме управления измерением сигналов термопреобразователей

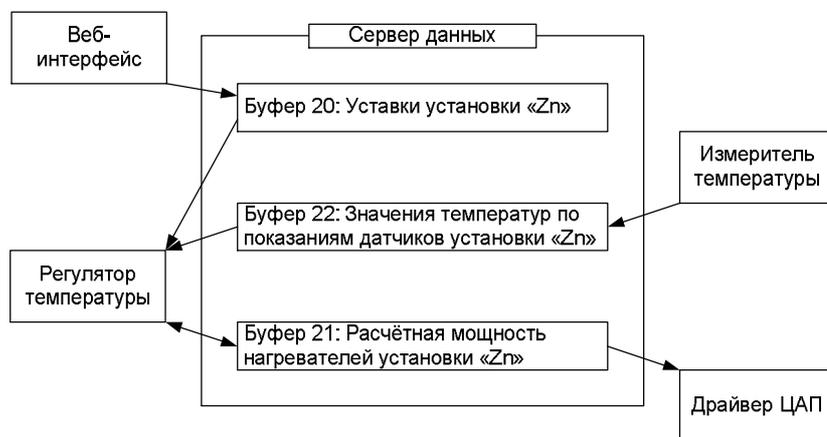


Рисунок 3 – Информационная диаграмма взаимодействия программных компонентов

Декомпозиция решаемой задачи на простейшие подзадачи и выделение для каждой из подзадач отдельного программного компонента повышает надёжность и живучесть системы управления. При таком подходе упрощены отладка и тестирование, а масштабирование осуществляется просто путём запуска дополнительных программных компонентов. Например, при включении в работу новой установки необходимо запустить с заданными параметрами аппаратных портов драйвер измерителя температуры, драйвер ЦАП и регулятор температуры, после чего обновить конфигурацию генератора графики, чтобы обеспечить корректное формирование графиков температуры в печи через веб-интерфейс.

Рассмотрим подробнее аппаратный состав интегрированной системы управления. Установки для реализации реперных точек температурной шкалы - «Индий», «Олово», «Цинк» и «Алюминий» представляют собой трёхзонные печи, в которые помещены ампулы с чистыми металлами. Питание нагревателей печей осуществляется посредством трёхканальных блоков усилителей мощности с фазоимпульсным управлением. Сигналы управления усилителями мощности формируются программно-управляемыми ЦАП. Обратная связь обеспечивается шестью датчиками температуры, три из которых контролируют температуру нагревателей, два измеряют градиент температуры по высоте ампулы с металлом, а один - контрольный - помещается непосредственно в канал ампулы. По его показаниям поддерживается необходимый режим работы установки в соответствии с текущим этапом процесса воспроизведения реперной точки температурной шкалы - нагрев, плавление, перегрев или затвердевание металла в ампуле. После получения плато затвердевания этот датчик удаляется из канала ампулы для того, чтобы можно было выполнять в нём градуировку эталонных термометров.

Сигналы датчиков температуры, размещённых в печах установок, измеряются двенадцатиканальными измерителями температуры на основе прецизионного измерителя «Термоизмеритель ТМ-12» (один измеритель - на две установки).

Сигналы эталонных термометров коммутируются при помощи КИС, который имеет восемь каналов для сигналов сопротивления с четырёхпроводной схемой измерений и четыре канала для сигналов ЭДС. Из восьми каналов для сигналов сопротивления четыре предназначены для подключения градуируемых термометров сопротивления, четыре - для подключения эталонных мер сопротивления. Эталонные меры сопротивления термостатированы в суховоздушном термостате при температуре  $(20 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ . При измерении сигналов сопротивления КИС обеспечивает переключение направления измерительного тока.

Сигнал с выхода КИС поступает на вход нановольтмикрометра Agilent 34420A. Параллельно с нановольтмикрометром для осуществления его периодической калибровки подключен компаратор напряжений P3017.

Программные компоненты системы функционируют под управлением операционной системы Linux на выделенной ЭВМ или кластере ЭВМ, включенных в локальную компьютерную сеть. Доступ оператора установок и других пользователей возможен с любой ЭВМ, включенной в ту же локальную сеть или через прокси-сервер из сети Интернет. Внешний вид окна веб-интерфейса при управлении установкой «Цинк» приведён на рисунке 4. Количество одновременно подключившихся пользователей практически не влияет на функционирование системы управления, поскольку доля веб-интерфейса в информационном обмене между программными компонентами крайне невелика. Можно отметить, что информационный обмен между программными компонентами характеризуется постоянством во времени, что позволяет эффективно отлаживать функционирование системы управления и обеспечивает её высокую надёжность в эксплуатации.

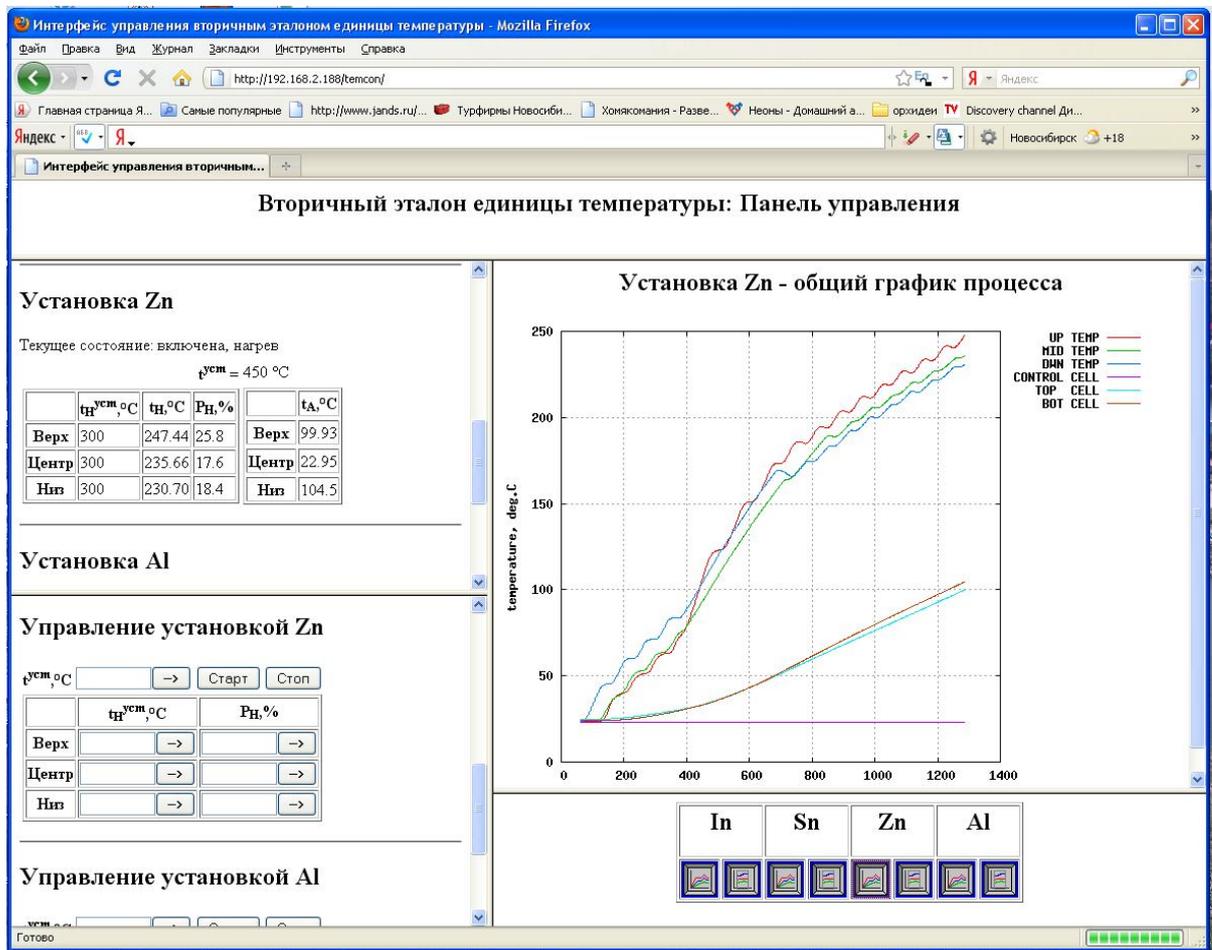


Рисунок 4 – Внешний вид окна веб-интерфейса при управлении установкой «Цинк»