

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ БПЛА (ИСУИ ГСУ). Часть 2

**А.А. ЕГОРОВ (Отдел автоматизации экспериментов МАИ)**



В статье рассмотрены аппаратно-программные средства интеллектуальной системы управления испытаниями гибридных силовых установок (ИСУИ ГСУ) на основе компонентов российского производства для БПЛА. В качестве промышленных контроллеров выбраны контроллеры компании Прософт-Системы REGUL 500 с набором модулей ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов. Программное обеспечение верхнего уровня реализуется на основе SCADA-системы MasterSCADA 4D. Программное обеспечение Astra.IDE позволяет осуществлять аппаратное конфигурирование контроллеров семейства REGUL (R500, R500S, R400). Astra.IDE позволяет работать в редакторах стандарта IEC 61131 3.

**Ключевые слова:** испытания ГСУ; интеллектуальные системы; промышленные контроллеры; REGUL 500, Astra.IDE; IEC 61131 3; MasterSCADA 4D.

В соответствии с разработанной в ОАЭ Института № 3 МАИ технологией модельно-ориентированного проектирования систем управления разработаны и внедрены в НПО ЭНЕРГОМАШ (г. Химки) две системы управления режимами испытаний жидкостных ракетных двигателей. Обе системы реализованы на основе зарубежных компонентов. Аппаратная часть системы управления испытаниями реализована на базе промышленного контроллера CompactRIO компании National Instruments (США). Программное обеспечение реализовано на базе LabView и пакета SCADE.

**SCADE** (*Safety-Critical Application Development Environment*) предназначена для проектирования систем со специальными требованиями к безопасности. SCADE – это среда визуального проектирования и автоматической генерации исходного кода. Код, сгенерированный SCADE, является сертифицированным по стандарту безопасности для авиации DO-178B. Проектирование в SCADE складывается из построения диаграмм, которые затем используются для симуляции, верификации и генерации текстов программ на языке высокого уровня (Си или АДА).

Согласно стратегии цифровой трансформации по Указу Президента РФ от 21.07.2020 № 474 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года”, применение отечественных решений стало приоритетным направлением в развитии систем автоматизации российских заказчиков.

Надёжная цифровая платформа – это один из основных драйверов экономического роста и конкурентное преимущество практически любой современной компании. Если у заказчика возникла необходимость в модернизации производства или построении надёжной эффективной системы управления/диспетчеризации на базе отечественных компонентов с горячим резервом, в том числе ПЛК, SCADA и операционной системы Linux, то можно предложить рассмотреть решение системы автоматизации испытаний ГСУ.

Рассмотрим основные задачи, которые должна решать проектируемая система управления испытаниями гибридных силовых установок (ГСУ):

- построение эффективного автоматизированного управления испытаниями ГСУ;
- повышение оперативности и безошибочности действий оперативного персонала за счёт предоставления ему достаточной и своевременной информации о режимах



Рис. 1. Внешний вид промышленного контроллера REGUL 500

работы и состоянии системы автоматизации испытательным стендом и состоянием объекта испытаний (ГСУ);

- защитить технологическое оборудование испытательного стенда его персонала при угрозе аварий, снизить аварийность в работе технологического оборудования за счёт оперативного управления и своевременной коррекции параметров системы контроля и управления испытательным стендом;
- предоставить персоналу своевременную технологическую информацию для анализа, организации и планирования работы оборудования стенда и его ремонта.

Система управления режимами испытаний ГСУ реализуется на базе отечественных

компонентов – промышленных контроллеров компании “Прософт-системы” серии REGUL 500 и MasterSCADA 4D [1].

Контроллеры представляют собой блочно-модульные программно-конфигурируемые изделия в промышленном исполнении, содержащие следующие модули: шасси, источника питания, центрального процессора, аналогового и цифрового ввода/вывода.

Внешний вид промышленного контроллера серии REGUL 500 представлен на рис. 1.

Структурная схема системы управления режимами испытаний ГСУ приведена на рис. 2.

Условное обозначение контроллеров состоит из обозначения модификации и условных обозначений, входящих в их состав. Структура

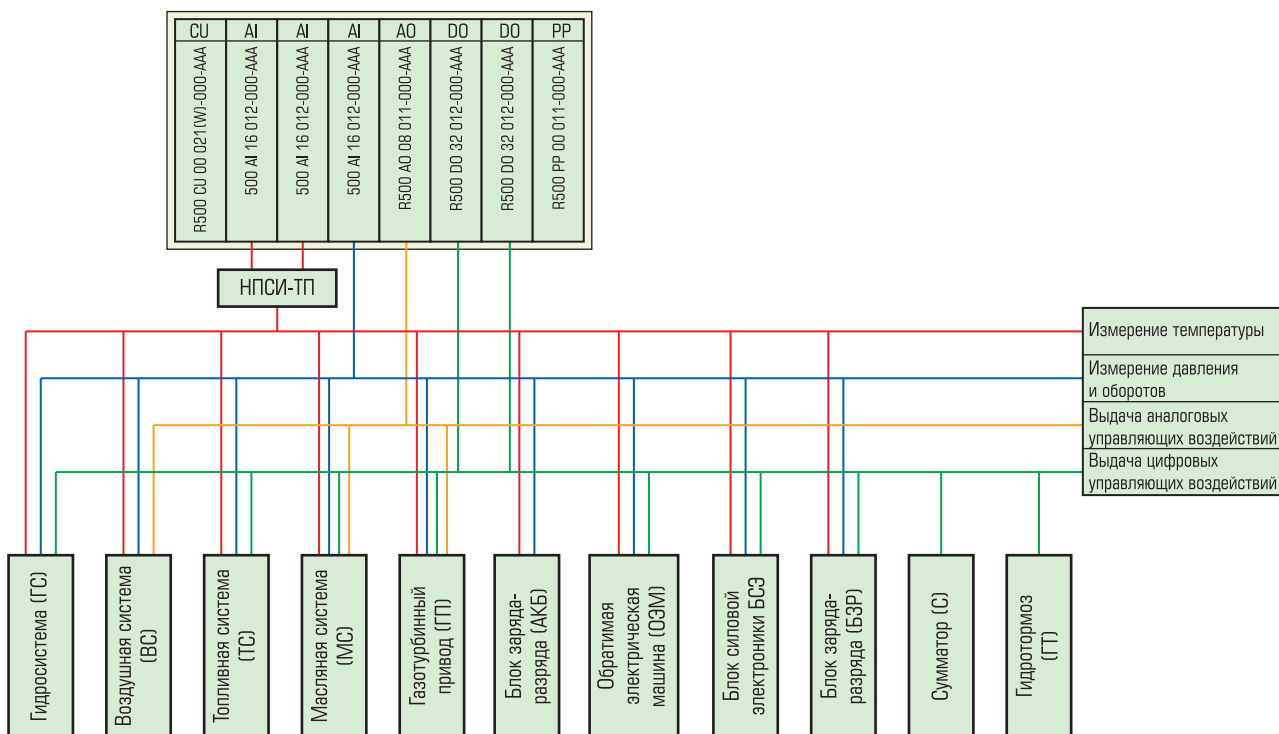


Рис. 2. Структурная схема системы управления режимами испытаний ГСУ

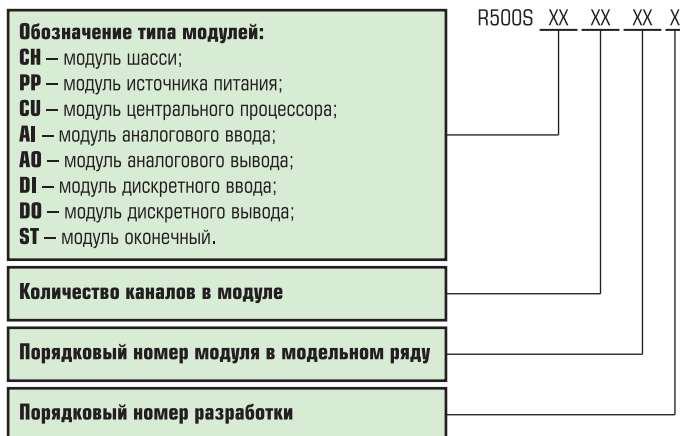


Рис. 3. Структура условного обозначения контроллеров REGUL 500

условного обозначения контроллеров представлена на рис. 3.

### МОДУЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА R500 CU 00 021(W)-000-AAA

Процессорный модуль Regul серии R500 на базе ЦП с архитектурой ARM – CU 00 021 и CU 00 031. Модели с индексом –02 в конце артикула имеют в комплекте шасси с поддержкой резервирования. Все предыдущие модели процессорных модулей Regul серии R500 основаны на ЦП Intel Atom x86.

Новые модули обладают меньшей вычислительной мощностью по сравнению с имеющимися моделями на Intel Atom, но её достаточно для выполнения малых и средних

проектов. Они при гораздо более низкой цене обладают функцией резервирования, как и их предшественники. Данное свойство позволит значительно расширить области применения ПЛК Regul серии R500.

Обе модели построены на базе центрального процессора ARM Cortex-Axx, имеют по 512 Мбайт RAM и 1 Гбайт флэш-памяти. Коммутационные возможности представлены одним портом RS-232 и одним RS-485. Различие моделей в Ethernet портах: CU 00 021 имеет 2×Ethernet RJ-45, а CU 00 031 – 2×Ethernet SFP. Внешний вид модуля представлен на рис. 4.

В состав модуля R500 CU 00 021(W) входят:

- COM-модуль;
- элемент питания часов реального времени;
- коммуникационные порты RS-232, RS-485, Ethernet;
- слот для установки карт памяти формата SD;
- переключатель режима работы;
- светодиодная панель.

COM-модуль представляет собой одноплатный компьютер и устанавливается на плату центрального процессора.

В качестве коммуникационных портов на переднюю панель выведены: RS-232 (Port 1 (COM 1) и RS-485 (Port 2 (COM 2), Ethernet 10BASE-T/100BASE-TX/100BASE-FX (через RJ45 или SFP) (Port 3, Port 4) и слот для установки карт памяти формата SD для копирования и последующего хранения на SD-карте log/backup-файлов (таблица 1).

В качестве органов управления на переднюю панель выведены переключатели режима работы RUN/STOP, KEY и MBS.



Рис. 4. Модуль центрального процессора R500 CU 00 021(W)

Таблица 1. Технические характеристики R500 CU 00 021(W)-000-AAA

Наименование параметра, единица измерения	Значение
ОЗУ, Гб	0,512
ПЗУ (100 000 циклов записи/стирания), Гб	1
<b>Интерфейсы:</b>	
• RS-232	1 (Port 1/COM 1) Скорость передачи данных от 1200 до 115 200 бит/с
• RS-485	1 (Port 2/COM 2) Скорость передачи данных от 1200 до 115 200 бит/с
Ethernet	2xRJ45
Поддерживаемые внешние накопители	SD, объемом до 32 Гб, формат FAT32
Пределы абсолютной погрешности внутренних часов, мкс	Определяются погрешностью часов сервера верхнего уровня
Потребляемая мощность от внутренней шины питания контроллера, Вт, не более	5
Поддержка резервирования внутренней шины питания	Да

**Продолжение таблицы 1. Технические характеристики R500 CU 00 021(W)-000-AAA**

Наименование параметра, единица измерения	Значение
<i>Напряжение пробоя изоляции (гальваническая изоляция), В, не менее:</i>	
• между портами RS-232 / RS-485 и внутренней шиной	1000
• между портами RS-232 и RS-485	–
<i>Условия эксплуатации:</i>	
• температура окружающего воздуха, °С	от – 40 до +60
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 98 без образования конденсата
<i>Условия хранения:</i>	
• температура окружающего воздуха, °С	от – 40 до +70
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 98 без образования конденсата
Степень защиты от внешних воздействий	IP20
Совместимый модуль шасси	СН 02 032
Количество занимаемых слотов	1
Размеры (Ш×В×Г), мм	40×180×145
Вес, кг	0,48

**МОДУЛЬ АНАЛОГОВОГО ВВОДА  
500 AI 16 012-000-AAA**

Модуль предназначен для ввода шестнадцати аналоговых сигналов постоянного тока в диапазонах от 0 до 20 мА, от 4 до 20 мА.

В модуле AI 16 012 измерительные каналы внутри одной группы из 8-ми каналов гальванически не разделены между собой, при этом группы между собой гальванически разделены.

Измерительные каналы являются пассивными, то есть электропитание аналоговых цепей при любой схеме подключения должно обеспечиваться внешним источником питания.

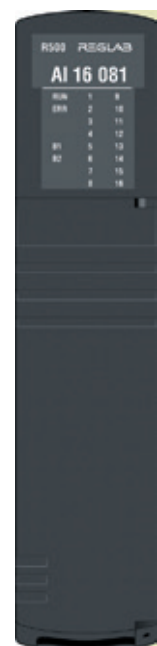
В состав модуля входят:

- шестнадцать блоков первичной обработки и формирования входных сигналов;
- модуль мультиплексора, АЦП и гальванической развязки (в AI 16 012 два измерительных тракта в составе: модуль мультиплексора, АЦП и гальваническая развязка, работающие каждый на свою группу каналов (1...8 и 9...16 соответственно));
- микропроцессор;
- источник питания (DC/DC-преобразователь 24 В/5 В);
- панель индикации.

Технические характеристики представлены в таблице 2.

Рис. 5.

Модуль аналогового ввода 500 AI 16 012-000-AAA



**Таблица 2. Технические характеристики 500 AI 16 012-000-AAA**

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Число каналов	16 (2 группы по 8 каналов)
Разрядность (включая область перегрузки), бит	14
Номинальные диапазоны преобразования силы постоянного тока, мА	от 0 до 20 / от 4 до 20
Расширенный диапазон преобразования силы постоянного тока, мА	от 0 до 25
Допустимый входной ток, мА	50
Входное сопротивление, Ом, не более	110
Время преобразования на канал, мс	1,0
Опрос каналов	последовательный
Время преобразования на модуль (все каналы разблокированы), мс	8,0
<i>Напряжение пробоя изоляции (гальваническая изоляция), В, не менее:</i>	
• между каналами и внутренней шиной питания и данных	1500
• между каналами и защитным заземлением	1500

**Продолжение таблицы 2. Технические характеристики 500 AI 16 012-000-AAA**

Наименование параметра, единица измерения	Значение
• между группами каналов	1000
• между каналами	—
Допустимая разность потенциалов между каналами, В	16
Защита от обратной полярности	Да
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности преобразования силы постоянного тока (в номинальных диапазонах), %	± 0,1
Пределы допускаемой дополнительной приведенной погрешности преобразования силы постоянного тока при изменении температуры окружающего воздуха, %/°С	± 0,002
Двухпроводное подключение датчиков (пассивный датчик)	Да (с использованием внешнего источника питания)
Трехпроводное подключение датчиков	Да
Четырехпроводное подключение датчиков (активный датчик)	Да
Потребляемая мощность от шины питания контроллера, Вт, не более	1
<b>Условия эксплуатации:</b>	
• температура окружающего воздуха в нормальных условиях, °С	от + 15 до + 25
• температура окружающего воздуха в рабочих условиях, °С	от – 40 до + 60
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 95 без образования конденсата
<b>Условия хранения:</b>	
• температура окружающего воздуха, °С	от – 40 до + 70
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 98 без образования конденсата
Степень защиты от внешних воздействий	IP20
Совместимый модуль шасси	СН XX 011/ СН XX 012 / СН XX 811
Совместимая клеммная колодка	СL 36 001
Количество занимаемых слотов	1
Размеры (Ш × В × Г), мм	40 × 180 × 145
Вес, кг	0,6

**МОДУЛЬ АНАЛОГОВОГО ВЫВОДА R500 AO 08 011-000-AAA**

Модуль предназначен для вывода восьми аналоговых сигналов постоянного тока в диапазонах от 0 до 20 мА, от 4 до 20 мА (рис. 6).

*Рис. 6. Модуль аналогового вывода R500 AO 08 011-000-AAA*

**Таблица 3. Индикация состояния каналов модулей аналогового вывода**

Состояние индикатора	Состояние канала
Не горит	Канал замаскирован
Горит зеленым	Канал в норме
Горит красным	Обрыв цепи выходного канала

В состав модуля входят:

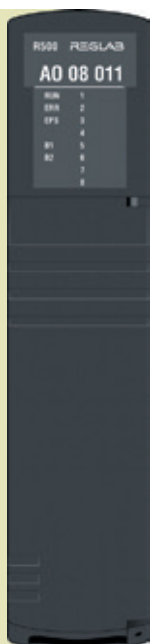
- восемь цифроаналоговых преобразователей (ЦАП);
- восемь элементов гальванической развязки (DC);
- микропроцессор;
- источник питания (DC/DC-преобразователь 24 В/5 В);
- панель индикации.

Индикация состояния каналов модулей: соответствие свечения функциональных индикаторов модуля состоянию выходного канала представлено в таблице 3.

Технические характеристики модуля приведены в таблице 4.

**Таблица 4. Технические характеристики модуля аналогового вывода R500 AO 08 011-000-AAA**

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Число каналов	8
Разрядность, бит	16
Канал воспроизведения тока, мА	от 0 до 20 мА / от 4 до 20
Максимальная высота над уровнем моря, на которой обеспечивается запуск ДВС	2500 м



**Продолжение таблицы 4. Технические характеристики модуля аналогового вывода R500 AO 08 011-000-AAA**

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Номинальные диапазоны воспроизведения силы постоянного тока, мА	от 0 до 20 / от 4 до 20
Сопротивление нагрузки, Ом, не более	800
Суммарное время установления сигнала на всех выходах, мс, не более	1,1
<b>Напряжение пробоя изоляции (гальваническая изоляция), В, не менее:</b>	
• между каналами и внутренней шиной питания и данных	1500
• между каналами и защитным заземлением	1500
• между каналами и внешним питанием	1500
• между каналами	1500
Допустимая разность потенциалов между каналами, В	1000
Защита от обратной полярности питающего напряжения	Да
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности воспроизведения силы постоянного тока (в номинальных диапазонах), %	± 0,1
Пределы допускаемой дополнительной приведенной погрешности воспроизведения силы постоянного тока при изменении температуры окружающего воздуха, %/°C	± 0,0025
Напряжение питания от источника постоянного тока, В	24 (от 18 до 29)
Потребляемая мощность от внешнего источника питания (при напряжении 24 В), Вт	от 3 до 9
<b>Условия эксплуатации:</b>	
• температура окружающего воздуха в нормальных условиях, °C	от + 15 до +25
• температура окружающего воздуха в рабочих условиях, °C	от – 40 до +60
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 98 без образования конденсата
<b>Условия хранения:</b>	
• температура окружающего воздуха, °C	от – 40 до +70
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 98 без образования конденсата
Степень защиты от внешних воздействий	IP20
Совместимый модуль шасси	СН 01 011 / СН 02 011 / СН 02 811
Количество занимаемых слотов	1
Размеры (Ш × В × Г), мм	40 × 180 × 145
Вес, кг	0,6

**МОДУЛЬ ЦИФРОВОГО  
ВЫВОДА R500 DO 32 012  
(рис. 7)**

Модуль предназначен для вывода тридцати двух дискретных сигналов, коммутирующих цепи напряжением 24 В постоянного тока и/или переменного тока.

В состав модуля входят:

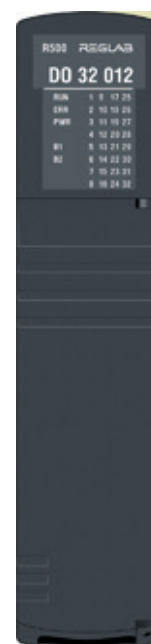
- тридцать два блока выдачи выходных реле-ных сигналов типа “сухой контакт”, объединенных в четыре группы по восемь каналов с гальванической изоляцией выходов между группами, при этом каждый из тридцати двух каналов гальванически изолирован от схемы обработки;
- микропроцессор;
- источник питания (DC/DC-преобразователь 24 В/5 В);
- панель индикации.

Блок выдачи модуля выходного сигнала представляет собой соответствующее реле со схемой управления. Схемы защиты выхода от перегрузки по току и перенапряжения отсутствуют.

Алгоритм работы модуля следующий: микропроцессор получает от прикладной программы маску состояния выходных сигналов и выдает соответствующие управляющие сигналы на реле, коммутирующие внешние цепи. Микропроцессор, получив сигнал о состоянии каналов, производит включение соответствующих светодиодных индикаторов.

При потере модулем связи с центральным процессором управление каналами может

Рис. 7.  
Модуль цифрового вывода R500 DO 32 012



**Таблица 5. Технические характеристики R500 DO 32 012**

Наименование параметра, единица измерения	Значение
ОЗУ, Гб	0,512
ПЗУ (100 000 циклов записи/стирания), Гб	1
<i>Интерфейсы:</i>	
• номинальное	24
• допустимое	30
Коммутируемый ток канала, А, не более	0,5
Сопротивление контакта в разомкнутом состоянии, МОм, не менее	1
<i>Время запаздывания (для резистивной нагрузки), мс, не более:</i>	
• с «0» на «1»	1
• с «1» на «0»	1
<i>Напряжение пробоя изоляции (гальваническая изоляция), В, не менее:</i>	
• между каналами и внутренней шиной питания и данных	1000
• между каналами и защитным заземлением	1000
• между группами каналов	1000
Допустимая разность потенциалов между группами, В	500
Защита от бросков напряжения (кратковременных)	Да
Защита от короткого замыкания	Нет
Защита от перенапряжения (длительных, свыше 30 В)	Нет
Потребляемая мощность от шины питания контроллера, Вт, не более	2,5
<i>Условия эксплуатации:</i>	
• температура окружающего воздуха в рабочих условиях, °С	от – 40 до +60
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 98 без образования конденсата
<i>Условия хранения:</i>	
• температура окружающего воздуха, °С	от – 40 до +70
• относительная влажность воздуха, %	от 5 до 98 без образования конденсата
Степень защиты от внешних воздействий	IP20
Совместимый модуль шасси	СН 01 011 / СН 02 011 / СН 02 811
Количество занимаемых слотов	1
Размеры (Ш × В × Г), мм	40 × 180 × 145
Вес, кг	0,6

происходить в несколько конфигурируемых этапов (максимально — 3, с возможностью циклического повторения этапов) с разными временными отрезками (максимально 65,535 секунд на отрезок) и разными стратегиями управления на каждом этапе.

Индикация состояния каналов модуля: свечение индикаторов состояния выходных каналов модуля отображает наличие сигнала “1” в соответствующей выходной цепи модуля.

Технические характеристики представлены в таблице 5.

**НПСИ-150-ТП1 НОРМИРУЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ ТЕРМОПАР И НАПРЯЖЕНИЯ [3]**

Преобразователи нормирующие НПСИ-ТП предназначены для преобразования сигналов термоэлектрических преобразователей (термопар, далее ТП) и напряжения в унифицированный токовый сигнал (рис. 8). Зависимость тока от температуры/напряжения — линейная. Преобразователь работает с 12-ю типами ТП по ГОСТ Р 8.585, в 3 — 8 диапазонах для каждого типа термопары по

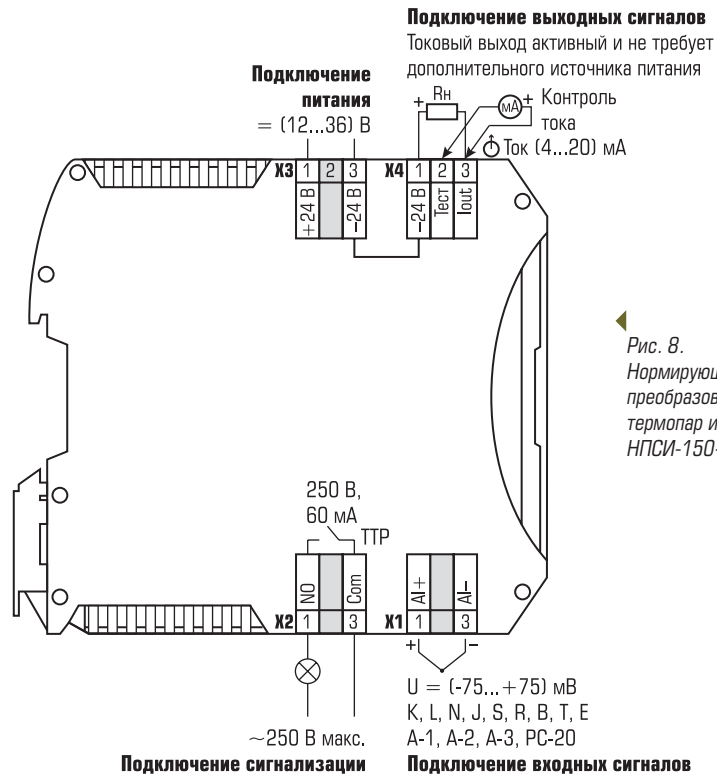


Рис. 8. Нормирующий преобразователь сигналов терморезистора и напряжения НПСИ-150-ТП1

ГОСТ Р 8.585 (таблица 1). Тип входного сигнала и диапазон преобразования выбираются пользователем программно.

Выполняемые НПСИ-150-ТП1 функции:

- преобразование сигналов терморезистора в унифицированный токовый сигнал, зависимость тока от температуры линейная;
- преобразование сигналов напряжения в унифицированный токовый сигнал;
- гальваническая изоляция между собой входов, выходов, питания преобразователя;
- выбор типа и диапазона преобразования с помощью кнопок и цифрового индикатора передней панели;
- линеаризация НСХ терморезистора;
- компенсация температуры холодного спая (может быть отключена пользователем);
- обнаружение аварийных ситуаций: обрыв датчика, выход параметра за пределы допустимого диапазона преобразования, целостность параметров в энергонезависимой памяти. Сигнализация аварийных ситуаций: индикация и формирование аварийного уровня выходного сигнала для обнаружения аварийных ситуаций внешними системами;
- индикация уровня выходного сигнала на дисплее и бар-графом;
- программный выбор (конфигурирование) функций преобразователя с помощью двух кнопок на передней панели с контролем по дисплею.

Пользователь может задать (сконфигурировать) с помощью кнопок и светодиодного дисплея на передней панели следующие характеристики преобразователя:

- тип входного сигнала (таблица 1);
- диапазон входного сигнала (таблица 1);
- диапазон токового сигнала (0...5, 0...20, 4...20) мА;
- выполнение функции компенсации температуры холодного спая (включена/отключена);
- уровень выходного сигнала при возникновении аварийной ситуации (высокий/низкий);
- индикацию уровня выходного сигнала барграфом (есть/нет).

Преобразователи рассчитаны для монтажа на DIN-рельсе 35 мм типа NS 35/7,5/15 по EN 50022 внутри шкафов низковольтных комплектных устройств.

Применение преобразователей обеспечивает:

- высокую точность преобразования 0,1 %;
- высокую температурную стабильность преобразования 0,0025 %/градус;
- расширенный диапазон рабочих температур от минус 40 до плюс 70 °С;
- защиту от электромагнитных помех при передаче сигналов на большие расстояния в условиях сильных промышленных воздействий;
- передачу измеренного сигнала на удаленные вторичные приборы по стандартным электротехническим проводам;



**Таблица 6. Технические характеристики НПСИ-150-ТП1**

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Пределы основной допускаемой погрешности преобразования, %, не более	±0,1
Дополнительная погрешность в диапазоне рабочих температур от -40 до +70 °С	0,0025 % / градус
Дополнительная погрешность компенсации термо-ЭДС холодного спая во всем диапазоне, °С, не более	±1
Дополнительная погрешность при изменении напряжения питания во всём диапазоне напряжений питания, %, не более	±0,02
Схема подключения преобразователя	2-проводная
Подавление помех 50 Гц общего/нормального вида	90 дБ
Устойчивость к электромагнитным воздействиям по ГОСТ 30804	Класс 3 критерий А
Диапазон выходного токового сигнала	(4...20) мА
Диапазон линейности выходного тока (для диапазона)	(3,8...20,5) мА
Максимальный диапазон выходного токового сигнала	(3,6...22) мА
Время установления выходного сигнала при скачкообразном изменении входного (динамическое/метрологическое), не более	0,25 с / 0,5 с
Дискретный выход	оптореле с одной группой контактов (Form A)
<i>Допустимые значения коммутируемого тока и напряжения:</i>	
• активная нагрузка	~250 В, 60 мА
• индуктивная нагрузка	~250 В, 60 мА
Максимальное коммутируемое переменное напряжение, В, не более	250
Время установления рабочего режима, мин, не более	5
Диапазон сопротивлений нагрузки, Ом	0...700 Ом
<i>Параметры интерфейса USB:</i>	
• спецификация	USB 2.0 FS
• тип разъёма	micro USB B CDC
• класс	(виртуальный COM-порт)
• поддерживаемые протоколы	Modbus RTU
Гальваническая изоляция цепей питания/входа/выхода	отсутствует
Допустимый диапазон напряжений питания	= (12...36) В
Потребляемая мощность, не более	2,5 В·А
<i>Условия эксплуатации:</i>	
• температура окружающего воздуха в рабочих условиях, °С	от -40 до +70
• относительная влажность воздуха, %	95 % при 35 °С без образования конденсата
Размеры (Ш×В×Г), мм	70,4×85×17,5
Масса, не более	75 г
Гарантия	36 месяцев

- гальваническую изоляцию между собой входов, выходов, питания — не требуется гальваническая изоляция рабочего спая термопары, преобразователя и потребителя токового сигнала;
- экономия затрат на компенсационные провода при больших расстояниях между первичным датчиком и вторичным прибором;
- простой монтаж — разъёмные винтовые клеммы.

Область применения: системы измерения, сбора данных, контроля и регулирования температуры в технологических процессах в энергетике, металлургии, химической, нефтяной, газовой, машиностроительной, пищевой, перерабатывающей и других отраслях промышленности, а также научных исследованиях.

Технические характеристики модуля представлены в таблице 6.

**Таблица 7. Типы и диапазоны преобразования НПСИ-150-ТП1**

Тип термопары, сигнала	Номер термопары, сигнала	Диапазон преобразования, °С	Пределы основной погрешности, %
Напряжение U	1	(-75...+75) мВ	±0,1
Хромель-алюмель ХА(К)	2	-150...+1300	±0,1
Хромель-копель ХК(Л)	3	-150...+800	±0,1
Нихросил-нисил НН(Н)	4	-150...+1300	±0,1
Железо-константан ЖЖ(У)	5	-150...+1200	±0,1
Платина-10%, Родий/Платина ПП(С)	6	0...1600	±0,15
Платина-13%, Родий/Платина ПП(Р)	7	0...1600	±0,15
Платина-30%, Родий/Платина-6%, Родий ПР(В)	8	0...1800	±0,2
Медь/константан МК(Т)	9	-150...+400	±0,1
Хромель/константан ХКн(Е)	10	-150...+900	±0,15
Вольфрам-рений ВР(А-1)	11	0...2500	±0,1
Вольфрам-рений ВР(А-2)	12	0...1800	±0,15
Вольфрам-рений ВР(А-3)	13	0...1800	±0,15
РС-20	14	900...2000	±0,1

Типы и диапазоны преобразования модуля приведены в таблице 7.

Программное обеспечение Astra.IDE позволяет осуществлять аппаратное конфигурирование контроллеров семейства REGUL (R500, R500S, R400). Программное обеспечение Astra.IDE включено в реестр отечественных программ Минцифры РФ, запись № 14356 [3].

Основные функциональные возможности:

- встроенный редактор визуализации;
- настройка основных параметров системы;
- создание и редактирование прикладного программного обеспечения;
- настройка резервирования;
- загрузка и выгрузка проектов;
- пошаговая отладка прикладной программы;
- мониторинг работы контроллера.

Astra.IDE позволяет работать в редакторах стандарта IEC 61131 3:

- FBD – функциональные блоковые диаграммы;
- LD – релейно-контактная логика;
- ST структурированный текст;
- SFC – последовательные функциональные диаграммы;
- CFC (Continuous Flow Chart).

Программное обеспечение Astra.IDE предоставляется бесплатно. Обращаем внимание, что некоторые дополнительные драйверы (Regul HART Communication, например) подлежат лицензированию в соответствии с политикой лицензирования.

Программное обеспечение RegulRTS является встроенным системным программным обеспечением, одновременно и операционной системой, и средой исполнения (программное обеспечение начального уровня, обеспечивающее взаимодействие с периферийным аппаратным оборудованием, планирование заданий, распределение памяти и интерфейс пользователя по умолчанию, когда не запущено ни одной прикладной программы) ПЛК REGUL RX. Системное ПО ПЛК REGUL RX REGULRTS включено в реестр отечественных программ Минцифры РФ, запись № 12986.

Программное обеспечение REGULRTS обеспечивает:

- прием данных и их трансформацию при взаимодействии с периферийным аппаратным обеспечением во время конфигурации контроллера, включая набор модулей, шину данных, настройку портов ввода/вывода и протоколов передачи данных, таймауты, метрологические характеристики и пр.;
- выполнение технологических алгоритмов в режиме реального времени;
- сбор и передачу диагностических данных о программной и аппаратной части ПЛК во время работы;
- прием и передачу данных при взаимодействии с внешними устройствами во время работы ПЛК.

Выбор в качестве SCADA-системы продукта MasterSCADA обусловлен тем, что это принципиально новый инструмент разработ-

ки систем управления и диспетчеризации. Это первая в нашей стране SCADA-система, в которой реализован объектный подход к разработке систем управления [4].

Общее число внедрений MasterSCADA системы составляет десятки тысяч практически во всех отраслях промышленности в России, ближнем и дальнем зарубежье. Популярность и надежность MasterSCADA подтверждается не только числом проданных лицензий, а также серьёзностью организаций, использующих ее, и проектов, реализованных на ней.

Сегодня MasterSCADA используют такие компании, как: Газпром, Роснефть, Лукойл, Иркутскэнерго, Калининская АЭС и тысячи других.

SCADA-система MasterSCADA выпущена российской компанией ЗАО НПФ ИнСАТ в 2002 году. С тех пор продукт постоянно развивался. До 2012 года – компанией ИнСАТ. Затем права на программу и команда разработчиков были переведены в компанию МПС софт. “МПС софт” – ведущий российский разработчик программного обеспечения, специализирующийся на продуктах для создания АСУ ТП, решения задач учета и диспетчеризации объектов промышленности, ЖКХ и автоматизации зданий. Все учредители и разработчики этой компании – россияне. В 2020 году компания “МПС софт” была приобретена отечественной группой компаний ИЕК, которая сегодня продолжает развитие SCADA-системы MasterSCADA. В 2024 году ИЕК отмечает 25-летний юбилей создания бизнеса. Четверть века – это огромный срок, в течение которого компания постоянно совершенствовалась.

Актуальной версией сегодня является MasterSCADA 4D – это SCADA нового поколения, обеспечивающая широчайшие возможности по автоматизации объектов любого масштаба.

Она зарегистрирована в реестре российского ПО под номером № 13907. Несмотря на стремительное развитие MasterSCADA 4D предыдущее поколение продукта – MasterSCADA 3.X до сих пор популярно у наших системных интеграторов. Она также внесена в реестр российского программного обеспечения – № 538.

Система выполняет следующие задачи:

1. Дистанционное управление технологическим оборудованием испытательного стенда.
2. Разграничение доступа к функциям Системы и ведение Журнала действий персонала.
3. Автоматическое формирование отчетных документов результатов испытаний.

4. Ведение баз данных конфигурирования автоматизированной системы управления стендом и результатов испытаний с использованием СУБД PostgreSQL.

Для связи контроллеров REGUL 500 и АРМ операторов с MasterSCADA 4D в этом проекте был выбран протокол OPC UA с резервированным каналом связи. Поддержка OPC UA реализована непосредственно в контроллерах REGUL R500, что исключает необходимость развёртывания протокола на серверах и АРМах. Благодаря этой особенности контроллеры КУПГД500 могут напрямую взаимодействовать с любым клиентским приложением или SCADA-системой, поддерживающей этот стандарт, что обеспечивает лёгкую интеграцию и увеличение скорости построения проекта [5].

В состав лицензии MasterSCADA 4D бесплатно входит клиент для предоставления возможности получения и передачи данных по OPC UA для организации “бесшовного” безопасного соединения разнородных узлов как внутри проекта, так и для соединения с другими программно-аппаратными комплексами.

Следует отметить, что некоторые производители устройств и программных платформ до сих пор предпочитают использовать проприетарные протоколы взаимодействия с “внешним миром” (проприетарный протокол – это коммуникационный протокол, принадлежащий одной организации или физическому лицу).

Но поддержка закрытых протоколов часто бывает сложна в обслуживании и развитии проекта, дальнейшей интеграции и подключении оборудования сторонних производителей. Примером может служить один из самых популярных до недавнего времени на промышленном российском рынке производитель промышленных контроллеров компания Siemens. После ухода этого производителя с рынка РФ в 2022 году интеграторы и заказчики в лице российских предприятий остались без поддержки и возможности обновлять и расширять системы на своих объектах. Отчасти помогли исправить положение решения для создания программных туннелей и драйверов от отечественных производителей. Например, компания “МПС софт” (она же производит MasterSCADA 4D) предлагает Profinet MasterOPC Server и драйвер для поддержки взаимодействия с ПЛК Siemens серий S7-200, S7-300, S7-400, S7-1200 и S7-1500 для предоставления данных клиентам по OPC DA и OPC UA. Для удобства интеграции также поддерживается импорт тегов из программы проектирования Siemens TIA Portal. Для этого

нужно сначала экспортировать необходимые блоки данных или переменные из TIA Portal, а затем с помощью специальной утилиты импортировать их в Profinet MasterOPC Server. Использование утилиты импорта значительно сокращает время настройки и исключает ошибки ручного ввода адресов переменных и блоков.

Отказ от использования проприетарного протокола в пользу протокола OPC UA для взаимодействия с ПЛК — это сокращение разнотипности средств, используемых при построении системы автоматизации, приводящее не только к снижению трудозатрат при пусконаладочных работах, но и облегчающее модернизацию отдельных компонентов системы в будущем.

**OPC** (аббр. от англ. *Open Platform Communications*, ранее англ. *OLE for Process Control*) — это набор программных технологий, которые предоставляют единый интерфейс для управления различными устройствами и обмена данными. Спецификации OPC были разработаны международной некоммерческой организацией OPC Foundation, которую создали в 1994 году ведущие производители средств промышленной автоматизации. Целью создания OPC было предоставить инженерам универсальный интерфейс для управления различными устройствами.

Отметим несколько преимуществ использования OPC UA по сравнению с “классическими” OPC-серверами, которые до сих пор являются очень популярными для настройки взаимодействия цифрового обмена SCADA-системы с “внешним миром”. Под “классической” спецификацией OPC, в первую очередь, имеется в виду передача данных согласно спецификациям OPC DA (*Data Access* — в масштабе реального времени), OPC HDA (*Historical Data Access* — архивов изменений параметров) и OPC A&E (*Alarm and Events* — тревог и событий). Популярность последних двух спецификаций существенно меньше, чем у OPC DA, не в последнюю очередь потому, что передача данных архивов и аварийных событий требовала от производителя оборудования разработки ещё двух отдельных программ, а от разработчика системы диспетчеризации — настройки ещё одного или двух дополнительных информационных стыков с серверами OPC HDA и OPC A&E, имеющими независимые и не связанные с OPC DA адресные пространства. В OPC UA предусматривается объединение механизмов адресации и доступа к разным категориям данных.

Дополнительной особенностью при выборе именно этого протокола является то, что OPC UA предлагает более надёжный способ контроля прав доступа по сравнению с классическими OPC — добавляется использование сертификатов. Также предусмотрена возможность шифрования передаваемых данных.

Эта особенность отражается и в уровнях взаимодействия OPC-клиентов и OPC-сервера. Во-первых, каждый из клиентов устанавливает с сервером своё защищённое сетевое соединение. При этом если в “классической” OPC право доступа клиента к серверу определялось исходя из прав пользователей Windows, от чьего имени они запускались на соответствующих компьютерах, то в OPC UA клиент и сервер идентифицируют себя цифровыми сертификатами. Также следует отметить, что в рамках соединения создаётся сессия — логическое соединение клиента и сервера. Параметром сессии являются уже права отдельного пользователя, использующего OPC-клиент, так как OPC-сервер может вводить ограничения на операции чтения/записи отдельных элементов для разных пользователей. Уже в рамках сессии производится собственно передача данных (выполнение запросов на чтение/запись), а также производится инициализация списка элементов, об изменениях значений которых сервер направляет клиенту уведомление (рис. 6 — между соединением, сессией, подпиской, элементом — отношения “один ко многим”). Если сбой в канале передачи данных приводит к разрыву сетевого соединения, то после установления нового соединения созданную ранее сессию можно “привязать” к нему и продолжить работу без повторной инициализации, то есть обеспечивается возможность быстрого восстановления передачи данных. Аналогично при реализации сценария резервирования: если есть основной и резервный OPC-клиенты, ведущие опрос одного OPC-сервера, то соединение с сервером устанавливают оба, а создаёт сессию и ведёт опрос основной OPC-клиент. В случае его краха резервный OPC-клиент подключает сохранённую на сервере сессию к своему соединению и продолжает получение данных [6].

При разработке системы автоматизации испытаний ГСУ реализуется алгоритм резервирования на уровне MasterSCADA 4D. Для этого два узла SCADA с загруженной в них исполнительной системой Master-SCADA 4D специальной конфигурации и лицензией с суффиксом RED работают одновременно: одно имеет статус Основной (MASTER), другое — Резервный (SLAVE). Клиент подключается к тому узлу,

который находится в режиме основного. Если связь с этим узлом будет потеряна, то страница клиента автоматически переключится к тому узлу, который находится в состоянии резервного. Программы на обоих узлах выполняются независимо. Опрос устройств могут вести два узла одновременно. Однако для протоколов, в которых параллельный опрос устройств невозможен, получение текущих данных по протоколам, добавленным в проект, производит только один из них – тот, который работает в режиме основного. В процессе работы параметры, у которых в настройке есть возможность сохранять установленное значение, передаются от основного узла резервному. Период передачи данных определяется в настройках службы резервирования. В общем случае при возникновении отказа основного узла управление переходит к резервному. Переключение клиентов визуализации к тому узлу, который находится в состоянии MASTER, происходит без перезагрузки страницы клиента визуализации. Раз в 10 секунд происходит синхронизация сессий пользователей между MASTER и SLAVE.

При разработке конкретного проекта применялась собственная библиотека технологи-

ческих объектов MasterSCADA 4D – датчиков и исполнительных механизмов. Особенностью библиотеки является её разделение на две части. Для гибридной силовой установки разрабатывается функциональный блок в среде Astra.IDE для контроллеров REGUL R500 и в MasterSCADA 4D – соответствующий библиотечный объект.

В заключение можно сделать вывод, что разработка интеллектуальной системы управления испытаниями гибридных силовых установок для БПЛА на основе российских аппаратно-программных компонентов вполне возможна и она будет обладать современными технико-экономическими характеристиками.

#### Используемые источники

1. <https://reglab.ru/?ysclid=m3m67y78ex935154381>
2. <https://contravi.nt-rt.ru/images/manuals/pasp-npsi-150-tp1.pdf>
3. <https://reglab.ru/software/astraide?ysclid=m3m6dumtbi64394305>
4. <https://insat.ru/products/?category=9&yclid=8060681213744250879>
5. <https://prosoftsystems.ru/>
6. <https://www.cia.ru/cms/fj/434762.pdf>

*Егоров Александр Александрович – канд. техн. наук, профессор АВН РФ (Научное отделение “Проблемы регионального развития”), начальник отдела автоматизации экспериментов МАИ.*