

## ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ/INFORMATICS AND INFORMATION PROCESSES

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3>

### ТЕСТИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ КАНАЛОВ АНАЛОГОВОГО ВХОДА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Научная статья

Вольников М.И.<sup>1,\*</sup>, Дадаев А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-9747-6667;

<sup>1,2</sup> Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (vmi1972[at]yandex.ru)

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы применения микроконтроллеров для проверки канала аналогового ввода на достижение заданной точности. Тестирование на точность данного функционала является основной проверкой перед внедрением микроконтроллера на объект, так как основное предназначение данного устройства мониторинг и контроль над процессами. В качестве среды разработки использована Unimod PRO версия 2. На основе разработанного программного обеспечения проведена проверка на точность канала аналогового входа микроконтроллера. Представлен эффект применения разработанного программного обеспечения. Показан пример работы программы при тестировании канала аналогового входа. Приведен пример расчета погрешности канала аналогового входа.

**Ключевые слова:** мониторинг, точность, микроконтроллер.

### TESTING THE ACCURACY OF ANALOGUE INPUT CHANNELS OF MICROCONTROLLERS

Research article

Volnikov M.I.<sup>1,\*</sup>, Dadaev A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-9747-6667;

<sup>1,2</sup> Penza State Technological University, Penza, Russian Federation

\* Corresponding author (vmi1972[at]yandex.ru)

#### Abstract

The article examines the use of microcontrollers to verify that the analogue input channel achieves the specified accuracy. Testing the accuracy of this functionality is the main check before implementing the microcontroller on the object, since the main purpose of this device is to monitor and control processes. Unimod PRO version 2 was used as the development environment. Based on the developed software, the accuracy of the microcontroller's analogue input channel was tested. The effect of using the developed software is presented. An example of the program's operation when testing the analogue input channel is shown. An example of calculating the error of the analogue input channel is given.

**Keywords:** monitoring, accuracy, microcontroller.

#### Введение

Применение программируемых логических контроллеров (ПЛК) является одним из наиболее распространенных и эффективных способов автоматизации производственных процессов. ПЛК представляют собой специализированные устройства, способные выполнять различные логические и арифметические операции в реальном времени. Они широко применяются в различных областях промышленности, включая производство автомобилей, электронику, пищевую промышленность и многие другие. От точности работы ПЛК зависит качество управления системами, в которых эти микроконтроллеры используются.

В данной статье разработан вариант применения ПЛК для процесса проверки канала аналогового ввода на достижение заданной точности. Точность регулирования — одна из важнейших характеристик систем автоматического управления (САУ), определяющая степень приближения реального управляемого процесса к требуемому [1]. Тестирование данного функционала является одной из основных задач перед внедрением микроконтроллера на объект, так как основное предназначение данного устройства — мониторинг и контроль над процессами, по результатам которых определяется качество работы системы регулирования. Это первичная и самая точная проверка, которую проводят производитель устройства, с помощью высокоточного эталонного оборудования (калибраторы тока, прецизионные мультиметры). Только после этого устройство идет в серийное производство. Также проверка является обязательной частью пусконаладочных работ и периодического обслуживания, например, после ремонта или замены модуля УВВ или датчика, при возникновении подозрений на некорректные показания в системе.

#### Инструментальная среда конфигурирования промышленных контроллеров

Существенной и неотъемлемой частью всякого микроконтроллера является присутствие в его составе устройств ввода-вывода. Указанные устройства на каналах связи с объектом характеризуются параметрами, которые будут использованы на конкретном объекте управления, а на каналах связи с ПЛК — параметрами, которые использует данный микроконтроллер.

Соответственно выходные сигналы с микроконтроллера передаются на исполнительные механизмы, воздействующие на объект управления с целью изменения его конфигурации. К таким объектам можно отнести электромагнитные реле, усилители мощности, коммутирующие устройства, муфты, пневмо- и гидрозолотники и т.п., а также различные устройства индикации, световые сигналы, табло, отражающие состояние объекта.

Для занесения программ в микроконтроллер для управления конкретным объектом необходимы специальные устройства, которые в общем случае могут не являться неотъемлемой частью ПЛК и использоваться только в момент внесения программной информации, т.е. быть переносным.

Коды программ для поканальной диагностики, представленные далее в работе, были написаны в Системе разработки Unimod PRO версия 2 [2]. Она является инструментальной средой, которая предназначена для конфигурирования промышленных контроллеров серии TREI-5B [3] и разработки технологических приложений на языках стандарта МЭК 61131-3 [4]:

- ST — структурированный текст;
- FBD — функциональные блоковые диаграммы;
- LD — релейно-контактная логика.

Основные функциональные возможности системы разработки Unimod PRO:

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

Система разработки включает в себя набор компонентов для обеспечения процесса подготовки исходного кода технологической программы, описания связей переменных с их физическими представлениями, компиляции, загрузки и отладки приложения. Технологическое приложение компилируется в системно-независимый код, который загружается через сеть Ethernet на целевую платформу контроллера TREI-5B для исполнения.

Программное обеспечение Unimod PRO версия 2 является полностью отечественным, совместимое с ОС Astra Linux и ОС Windows. Unimod PRO версия 2 соответствует требованиям безопасности информации по шестому уровню доверия для защиты информации не содержащих государственную тайну и средствам обеспечения безопасности информационных технологий.

### Постановка задачи и ее реализация

Перейдем к нашей задаче — проверим на заданную точность канал аналогового входа микроконтроллера. Алгоритм работы программы мониторинга представлен в виде блок-схемы на рисунке 1.

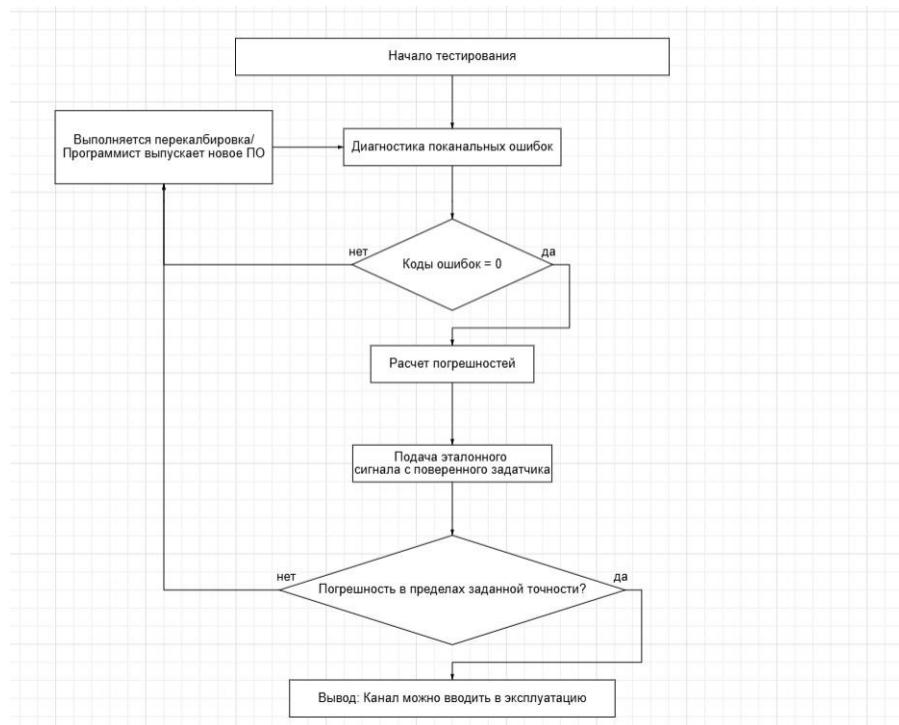


Рисунок 1 - Алгоритм действий при отладке канала аналогового ввода

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3.1>

1. Вначале запускается программа-ловушка 1 отслеживающая выставленные коды ошибок за определенный промежуток времени в библиотечной структуре модуля M135A “Поканальная диагностика”. Программа написана на языке ST для каналов аналогового микроконтроллера M135A. Это модуль аналогового ввода тока и напряжения с каналами с общей точкой. Режим работы 4-20 mA.

Проводим поканальную диагностику, чтобы во время замера тока на канале «не пролетела» ошибка. Список нештатных ситуаций указан в руководстве по эксплуатации устройства [5] и приведен на рисунке 2.

in / error (Поканальная диагностика)		
CH_01	Целый	Ошибки, каналы 1-8
...		
CH_08	Целый	0 - Нет ошибок 1 - Канал не откалиброван 2 - Значение не достоверно 3 - Аппаратная ошибка 4 - Обрыв (4-20mA) 5 - Выход за диапазон 13 - Канал отключен 15 - Канал заблокирован

Рисунок 2 - Список нештатных ситуаций контроллера TREI-5B

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3.2>

После подачи на канал токовой нагрузки собираем в массив коды поканальной диагностики в течение 3 минут в каждом цикле мастера (в нашем случае это примерно 5-6 мс) и проверяем, чтобы в поканальной диагностике выставилялся код 0 — «нет ошибок» и ничего кроме этого.

Код программы 1 имеет вид (рис. 3):

```

12 if catch
13 then
14     buf_1[j] := m1.in.value.CH_01;
15     buf_1[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_01);
16
17     buf_2[j] := m1.in.value.CH_02;
18     buf_2[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_02);
19
20     buf_3[j] := m1.in.value.CH_03;
21     buf_3[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_03);
22
23     buf_4[j] := m1.in.value.CH_04;
24     buf_4[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_04);
25
26     buf_5[j] := m1.in.value.CH_05;
27     buf_5[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_05);
28
29     buf_6[j] := m1.in.value.CH_06;
30     buf_6[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_06);
31
32     buf_7[j] := m1.in.value.CH_07;
33     buf_7[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_07);
34
35     buf_8[j] := m1.in.value.CH_08;
36     buf_8[j+1] := int_to_real(m1.in.error.CH_08);
37
38     j := j + 2;
39     if j = 180000
40     then
41         j := 0;
42     end_if;
43 end_if;
44

```

Список ошибок   Вывод   Поиск

Начало проверки: 16:42:49  
Сохранение проекта: 16:42:49  
Компиляция: 16:42:51  
Компиляция программы M135A\_1  
Критических ошибок: 0  
Окончание проверки: 16:42:51  
Проверка заняла: 00:00:01

Рисунок 3 - Код программы 1

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3.3>

### Результат работы программы 1

Видим (рис. 4), что четные элементы массива — значение тока на канале, а нечетные — поканальная диагностика канала. Изначально на устройство не подавалась нагрузка, т.е. был выставлен код 4 — обрыв, после того, как на канал подключили калибратор с выходным сигналом 4 мА в поканальной диагностике выставилялся код 0 — нет ошибок.

[4] buf_5[276]	вещественный	0.0002020243				
[4] buf_5[277]	вещественный	4.0000000				
[4] buf_5[278]	вещественный	0.0002020243				
[4] buf_5[279]	вещественный	4.0000000				
[4] buf_5[280]	вещественный	0.0002020243				
[4] buf_5[281]	вещественный	4.0000000				
[4] buf_5[282]	вещественный	0.0002020243				
[4] buf_5[283]	вещественный	4.0000000				
[4] buf_5[284]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[285]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[286]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[287]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[288]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[289]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[290]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[291]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[292]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[293]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[294]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[295]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[296]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[297]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[298]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[299]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[300]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[301]	вещественный	0.0000000				
[4] buf_5[302]	вещественный	3.9988370				
[4] buf_5[303]	вещественный	0.0000000				

Рисунок 4 - Результат работы программы 1  
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3.4>

2. Параллельно запускаем программу 2, контролирующую точность канала модуля M135A [6], при подаче токового значения с активного задатчика (калибратор). Задаем 20 mA, время замера — 3 минуты.

Эта проверка необходима, чтобы убедиться в том, что канал ввода удовлетворяет заданной точности [1]. Например, у канала, который мы рассматриваем, тип — AI.0-20 mA и в паспорте (табл. 1) устройства мы заявляем, что у данного аналогового канала ввода точность  $\pm 0,016$  mA. Это необходимо, так как устройство поставляется заводом-изготовителем с сертификатом или паспортом, где указана его поверенная точность.

Код программы представлен на рисунке 5.

Таблица 1 - Технические характеристики модуля M135A

DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3.5>

Параметр	Значение		
Количество каналов	8		
Тип канала	AI.0-20 mA	AI.4-20 mA	AI.0-10V
Диапазон измерений	от 0 до 20 mA	от 4 до 20 mA	от 0 до 10 В
Контроль обрыва внешней линии	—	Есть, не менее 3,6 mA	—
Перегрузка	20,5 mA		10,5 В
Пределы допускаемой погрешности: – основной приведенной, % – дополнительной приведенной, % / 10°C		$\pm 0,1$ $\pm 0,05$	

```

1 if reset
2 then
3   For i:=0 to mass_count do
4     Delta[i]:=0.0;
5     min_mass[i]:=3000.0;
6     max_mass[i]:=-3000.0;
7   end_for;
8   reset:=false;
9 end_if;
10
11 in_mass[0]:=M19.in.value.CH_01;
12 in_mass[1]:=M19.in.value.CH_02;
13 in_mass[2]:=M19.in.value.CH_03;
14 in_mass[3]:=M19.in.value.CH_04;
15 in_mass[4]:=M19.in.value.CH_05;
16 in_mass[5]:=M19.in.value.CH_06;
17 in_mass[6]:=M19.in.value.CH_07;
18 in_mass[7]:=M19.in.value.CH_08;
19
20 for i:=0 to mass_count do
21   if in_mass[i]>max_mass[i]
22   then
23     max_mass[i]:=in_mass[i];
24   end_if;
25
26   if in_mass[i]<min_mass[i]
27   then
28     min_mass[i]:=in_mass[i];
29   end_if;
30
31 delta[i]:=max_mass[i]-min_mass[i];
32
33 rez_mass[i,0] := in_mass[i];
34 rez_mass[i,1] := min_mass[i];
35 rez_mass[i,2] := max_mass[i];
36 end_for;

```

Рисунок 5 - Код программы 2  
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3.6>

### Результат работы программы 2

В двумерный массив Rez\_mass[8,3] помещаются данные, считанные с каналов модуля. У данного устройства 8 аналоговых входов, ток с калибратора задан на 1 канал. Rez\_mass[0,0] — значение считанное с канала в текущий момент, Rez\_mass[0,1] — минимальное значение за 3 минуты, Rez\_mass[0,2] — максимальное значение за 3 минуты.

Выполним расчет, взяв полученные данные (рис. 6).

Имя	Тип	Значение	Адрес modbus	Архивация	Хран.	Комментарий
[#] mass_count	целый	7				
[#] i	целый	8				
[#] j	целый	0				
> [#] in_mass[8]	вещественный					
> [#] min_mass[8]	вещественный					
> [#] Max_mass[8]	вещественный					
> [+] Delta[8]	вещественный					
[#] Delta[0]	вещественный	0.0005435944				
[#] Delta[1]	вещественный	0.00000000				
[#] Delta[2]	вещественный	0.00000000				
[#] Delta[3]	вещественный	0.00000000				
[#] Delta[4]	вещественный	0.00000000				
[#] Delta[5]	вещественный	0.00000000				
[#] Delta[6]	вещественный	0.00000000				
[#] Delta[7]	вещественный	0.00000000				
> [#] rez_mass[8,3]	вещественный					
> [#] rez_mass[0]	вещественный					
[#] rez_mass[0,0]	вещественный	19.9993700				
[#] rez_mass[0,1]	вещественный	19.9998940				
[#] rez_mass[0,2]	вещественный	19.9994800				
> [#] rez_mass[1]	вещественный					
> [#] rez_mass[2]	вещественный					
> [#] rez_mass[3]	вещественный					
> [#] rez_mass[4]	вещественный					
> [#] rez_mass[5]	вещественный					
> [#] rez_mass[6]	вещественный					
> [#] rez_mass[7]	вещественный					
[#] mode_ch	целый	0				
[#] set_mode_ch	булевский	false				
[#] out_value	вещественный	0.0000000				
[#] fill_out_mass	булевский	false				

Рисунок 6 - Данные для расчета погрешности  
DOI: <https://doi.org/10.60797/itech.2026.9.3.7>

Delta = Rez\_mass[0,2] – Rez\_mass[0,1] за промежуток времени равный 3 минутам.  
Delta = 19,99948 – 19,99894 = 0,00054.

У канала есть допуск погрешности [7], [8], в данном случае это 0,016 мА, т.е. на этом канале мы уложились в погрешность:

$$\Delta = 0,00054 < 0,016.$$

В случае неудовлетворительного результата программист-разработчик исправляет неточность в полученных значениях внесением поправочных коэффициентов в конфигурацию ПЛК или самого модуля через специализированное ПО.

С помощью разработанного алгоритма (рис. 1) и соответствующего ему программному обеспечению мы проверили один из важнейших функционалов данного устройства, которое тестируется на стадии производства заводом-изготовителем устройства с целью проверки соответствия ТУ и проверки качества выполненной первичной калибровки. Алгоритм проверки также применим в эксплуатационных условиях инженером КИПиА для проверки монтажа, периодического контроля, поиска неисправностей.

Таким образом, проверка точности — это не разовое действие, а многоэтапный процесс, обеспечивающий работу системы автоматизации на протяжении всего жизненного цикла оборудования.

## **Заключение**

Реализация систем управления на базе программируемых логических контроллеров является эффективным решением для автоматизации процессов в различных отраслях промышленности [9]. Благодаря гибким настройкам и возможностям программирования ПЛК позволяют создавать сложные управляющие системы, обеспечивая стабильную и точную работу оборудования. Однако внедрение таких систем управления требует предварительной оценки точности канала ввода для обеспечения требуемых показателей качества системы. Алгоритм, иллюстрирующий возможности программы оценки точности, был продемонстрирован в работе и может в дальнейшем использоваться при тестировании микроконтроллеров.

## **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

## **Conflict of Interest**

None declared.

### **Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

## **Список литературы / References**

1. Архипов А. Настройка и проверка измерительных каналов ПЛК / А. Архипов // Control Engineering Россия. — 2023. — № 4 (103). — С. 19–23.
2. Unimod Pro. Руководство пользователя // Сайт компании АО «ТРЕИ». — 2022. — 275 с. — URL: [https://trei.biz/upload/iblock/677/bczzm9zzambqerq8y2s2opsv74st96nw/TREI\\_UNIMOD\\_USER.pdf](https://trei.biz/upload/iblock/677/bczzm9zzambqerq8y2s2opsv74st96nw/TREI_UNIMOD_USER.pdf) (дата обращения: 31.03.2025).
3. Программируемые контроллеры управления TREI-5B // Сайт компании АО «ТРЕИ». — 2024. — URL: <https://trei.biz/produktsiya/programmiremye-kontrollery-upravleniya-trei-5b/> (дата обращения: 31.03.2025).
4. Зюбин В.Е. Перспективные модификации языка ST из состава МЭК 61131-3 / В.Е. Зюбин // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2009. — № 4. — С. 19–22.
5. Руководства по эксплуатации и инструкции контроллеров TREI // Сайт компании АО «ТРЕИ». — 2025. — URL: <https://trei.biz/tehnicheskaya-podderzhka/dokumentatsiya.html> (дата обращения: 31.03.2025).
6. Module M135A // Сайт компании "Эталон". — 2025. — URL: [https://www.etalonpribor.ru/catalog/elektroizmeritelnye-pribory/product/m135-a\\_932/?ysclid=m8woczsros631535399](https://www.etalonpribor.ru/catalog/elektroizmeritelnye-pribory/product/m135-a_932/?ysclid=m8woczsros631535399) (дата обращения: 31.03.2025).
7. Кравчеко А.Н. Оценка погрешности информационных каналов систем управления / А.Н. Кравчеко, И.Н. Белоглазов, Э.Д. Кадыров // Записки Горного института. — 2006. — Т. 169. — С. 137–139.
8. Цитович Б.В. Выбор допустимой погрешности измерений / Б.В. Цитович // Метрология, стандартизация и управление качеством : сборник научных трудов Республиканского научно-практического семинара «Метрология, стандартизация и управление качеством. Гармонизация деятельности в различных сферах интегрированной системы "Образование – наука – производство"». — Минск : БНТУ, 2004. — С. 18–31. — URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/4055/18-31.pdf?sequence=1&ysclid=m8wuv1sw5z379274581> (дата обращения: 31.03.2025).
9. Суворов А.Н. Построение распределенных информационно-управляющих систем / А.Н. Суворов // Автоматизация и ИТ в энергетике. — 2017. — № 2 (91). — С. 46–49.

## **Список литературы на английском языке / References in English**

1. Arkhipov A. Nastroika i proverka izmeritelnykh kanalov PLK [Setting up and checking PLC measuring channels] / A. Arkhipov // Control Engineering Rossiya [Control Engineering Russia]. — 2023. — 4(103). — P. 19–23. [in Russian]
2. Unimod Pro. Rukovodstvo polzovatelya [Unimod Pro. User's Guide] // Sajt kompanii AO "TREI" [The website of JSC "TREI"]. — 2022. — 275 p. — URL: [https://trei.biz/upload/iblock/677/bczzm9zzambqerq8y2s2opsv74st96nw/TREI\\_UNIMOD\\_USER.pdf](https://trei.biz/upload/iblock/677/bczzm9zzambqerq8y2s2opsv74st96nw/TREI_UNIMOD_USER.pdf) (accessed: 31.03.2025). [in Russian]

3. Programmiruemie kontrolleri upravleniya TREI-5B [Programmable control controllers TREI-5B] // Sajt kompanii AO "TREI" [The website of JSC "TREI"]. — 2024. — URL: <https://trei.biz/produktsiya/programmiruemye-kontrollyery-upravleniya-trei-5b/> (accessed: 31.03.2025). [in Russian]
4. Zyubin V.E. Perspektivnie modifikatsii yazika ST iz sostava MEK 61131-3 [Next-generation modifications of st language from IEC 61131-3] / V.E. Zyubin // Promishlennie ASU i kontrolleri [Industrial automated control systems and controllers]. — 2009. — № 4. — P. 19–22. [in Russian]
5. Rukovodstva po ekspluatatsii i instruktsii kontrollerov TREI [User manuals and instructions for TREI controllers] // Sajt kompanii AO "TREI" [The website of JSC "TREI"]. — 2025. — URL: <https://trei.biz/tekhnicheskaya-podderzhka/dokumentatsiya.html> (accessed: 31.03.2025). [in Russian]
6. Module M135A [Module M135A] // Sajt kompanii "Etolon" [The website of the Etalon company]. — 2025. — URL: [https://www.etalonpribor.ru/catalog/elektroizmeritelnye-pribory/product/m135-a\\_932/?ysclid=m8woczsros631535399](https://www.etalonpribor.ru/catalog/elektroizmeritelnye-pribory/product/m135-a_932/?ysclid=m8woczsros631535399) (accessed: 31.03.2025). [in Russian]
7. Kravcheko A.N. Otsenka pogreshnosti informatsionnikh kanalov sistem upravleniya [Estimation of the error of information channels of control systems] / A.N. Kravcheko, I.N. Beloglazov, E.D. Kadirov // Zapiski Gornogo instituta [Journal of Mining Institute]. — 2006. — Vol. 169. — P. 137–139. [in Russian]
8. Tsitovich B.V. Vybor dopustimoj pogreshnosti izmerenij [Selection of the permissible measurement error] / B.V. Tsitovich // Metrologiya, standartizaciya i upravlenie kachestvom [Metrology, standardization and quality management] : collection of scientific papers of the Republican scientific and practical seminar «Metrology, standardization and quality management. Harmonization of activities in various spheres of the integrated system "Education – science – production"». — Minsk : Belarusian National Technical University, 2004. — P. 18–31. — URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/4055/18-31.pdf?sequence=1&ysclid=m8wuv1sw5z379274581> (accessed: 31.03.2025). [in Russian]
9. Suvorov A.N. Postroenie raspredelennikh informatsionno-upravlyayushchikh sistem [Construction of distributed information-control systems] / A.N. Suvorov // Avtomatizatsiya i IT v energetike [Automation and IT in the energy sector]. — 2017. — № 2 (91). — P. 46–49. [in Russian]