

НОВАЯ СЕРИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БДУ-Д

А.И. Белошистов

ORCID: 0009-0005-7057-2965 e-mail: BeloshAlex@yandex.ru

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного электрооборудования

Донецк, Россия

А.Л. Серов

ORCID: 0009-0007-9931-7559 e-mail: jusstus@yandex.ru

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного электрооборудования

Донецк, Россия

А.А. Белошистов

ORCID: 0009-0008-6034-168X e-mail: alex1950@ro.ru

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного электрооборудования

Донецк, Россия

Разработана новая серия микропроцессорных устройств дистанционного управления БДУ-Д для взрывозащищенных коммутационных аппаратов и трансформаторных подстанций. При этом соблюдался принцип взаимозаменяемости блоков. Новая серия блоков разработана в корпусах ранее применяемых устройств управления. Это позволит заменить ими вырабатывающие свой ресурс морально устаревшие блоки, находящиеся в эксплуатации, повысить технический уровень пусковой аппаратуры и передвижных трансформаторных подстанций.

Ключевые слова: микропроцессорные устройства управления, алгоритм работы, взаимозаменяемость.

Для цитирования: Белошистов А.И., Серов А.Л., Белошистов А.А. Новая серия микропроцессорных устройств дистанционного управления БДУ-Д // Интеллектуальная Электротехника. 2024. № 3. С. 50-64. EDN MMFJSO

NEW SERIES OF MICROPROCESSOR REMOTE CONTROL DEVICES BDU-D

A.I. Beloshistov

ORCID: **0009-0005-7057-2965** e-mail: **BeloshAlex@yandex.ru**

Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof Electrical Equipment
Donetsk, Russia

A.L. Serov

ORCID: **0009-0007-9931-7559** e-mail: **jusstus@yandex.ru**

Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof Electrical Equipment
Donetsk, Russia

A.A. Beloshistov

ORCID: **0009-0008-6034-168X** e-mail: **alex1950@ro.ru**

Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof Electrical Equipment
Donetsk, Russia

Abstract. The paper presents a new series of microprocessor remote control devices BDU-D for explosion-proof switching devices and transformer substations. The principle of interchangeability of blocks was used. A new series of devices has been developed in the frames of previously used control devices. This will allow to replace obsolete units that exhausted their resource, and to increase the technical level of starting equipment and mobile transformer substations.

Keywords: microprocessor control devices, operation algorithm, interchangeability.

For citation: A.I. Beloshistov, A.L. Serov and A.A. Beloshistov, “New series of microprocessor remote control devices BDU-D”, *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 50-64, 2024. EDN MMFJSO

I. Введение

Угольная промышленность, занимая достойное место в топливно-энергетическом комплексе страны, претерпевает серьезные изменения в плане технологической и энергетической модернизации. Увеличение производительности угольных шахт и нагрузки на забой потребовало не только разработки новых средств механизации очистных работ в виде мощных энерговооруженных очистных комплексов, но и создания новых коммутационных аппаратов, отвечающих современным требованиям.

Интенсивное развитие цифровой техники обусловило внедрение ее во все отрасли промышленности, в том числе, угледобывающую. Так,

например, устройства дистанционного управления, выполненные на традиционной элементной базе, уже не способны обеспечить возрастающие требования к надежности. Данные блоки предназначены для встройки в рудничные коммутационные аппараты и комплектные устройства напряжением до 1200 В и служат для дистанционного управления (с искробезопасными параметрами) рудничными коммутационными аппаратами [1]. Учитывая, что блоки управления, находящиеся в эксплуатации, были разработаны в 1960-х гг., элементная база их давно устарела. Многие детали сняты с производства, а некоторые заводы, производившие компоненты для блоков управления, закрылись. Эти обстоятельства ставят под вопрос возможность выполнения качественного ремонта данных изделий [2-4].

Микропроцессорные устройства начали применяться в мировой практике более двух десятилетий тому назад, постепенно вытесняя не только электромеханические устройства, но и электронную аналоговую технику. Переход на цифровые принципы обработки информации не привел к появлению новых принципов построения защит, но определил оптимальную структуру построения аппаратной части современных цифровых устройств и существенно улучшил эксплуатационные качества. При применении микропроцессоров в блоках управления повышается надежность работы схемы, уменьшается количество используемых элементов. Вследствие этого возникла необходимость разработки блоков дистанционного управления типа БДУ-Д [5].

Серия микропроцессорных устройств дистанционного управления на новой элементной базе для взрывозащищенных коммутационных аппаратов и трансформаторных подстанций разработана взамен блоков БДУ-4-2 и БДУ-4-3. Она состоит из неревверсивных блоков БДУ-Д-1, БДУ-Д-2 и реверсивного блока БДУ-Д-Р.

В статье представлена информация о технических параметрах и защитных характеристиках микропроцессорных устройств дистанционного управления БДУ-Д, а также особенностях их устройства и работы.

II. Описание разработанных решений

Основным конструктивным отличием блоков дистанционного управления является наличие различных видов применяемых соединителей для присоединения блока к аппаратуре. Типы соединителей приведены в табл. 1. Конструкция блоков в основном состоит из пластмассового корпуса и основания, на котором крепится вилка соединителя и печатная плата с элементами.

Блоки дистанционного управления выполняют следующие основные функции [6]:

- защиту от потери управляемости при замыкании или обрыве проводов цепи дистанционного управления;

- защиту от самовключения при кратковременном повышении напряжения питающей сети до 150 % номинального;
- включение исполнительного элемента при сопротивлении цепи заземления до 15 Ом включительно;
- удержание исполнительного элемента при сопротивлении цепи заземления до 35 Ом включительно;
- отключение исполнительного элемента при сопротивлении цепи заземления свыше 35 до 50 Ом включительно.

Таблица 1.
Типы соединителей блоков БДУ

Table 1.
Types of BDU block connectors

Тип соединителя	РШАВПБ-20	РШ2Н-2-16	ГРПМ1	Клеммники
Типы блоков управления	БДУ БДУ - 4 - 3 БДУ - Д БДУ - Т БДУ - П БДУ - Р - Т БДУ - М2	БДУ - 4 - 2	БДУ - 1	БДУ - 02
Характеристика соединителя	Имеются отказы в работе из-за поломок ламелей соединителя	Соединитель ножевого типа. Отказов в работе не наблюдалось	Соединитель игольчатого типа. Наблюдаются отказы из-за поломок при установке блока на панели	Необходимо большее время при замене блока

Кроме перечисленных основных, некоторые типы блоков имеют дополнительные функции, направленные на повышение информативности при эксплуатации.

Аналоги разработанных блоков построены на устаревшей элементной базе, и их эксплуатация при повышенной температуре способствует высушиванию электрических компонентов, что приводит к изменению их характеристик. Новая серия микропроцессорных устройств дистанционного управления БДУ-Д позволяет обеспечить стабильность параметров на весь период эксплуатации.

Микропроцессорные устройства дистанционного управления серии БДУ-Д предназначены для дистанционного управления включением и отключением одиночных механизмов, подключенных к взрывозащищенным пускателям, комплектным устройствам управления (станциям), для дистанционного отключения аппаратов защиты (автоматических выключателей, РУНН трансформаторных подстанций), а также для контроля сопротивления заземляющего провода передвижных механизмов и машин и защиты от потери управления [7]. Блоки БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2 имеют одинаковое схемное решение и отличаются только конструкцией.

Общий вид блоков БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2 представлен на рис. 1.

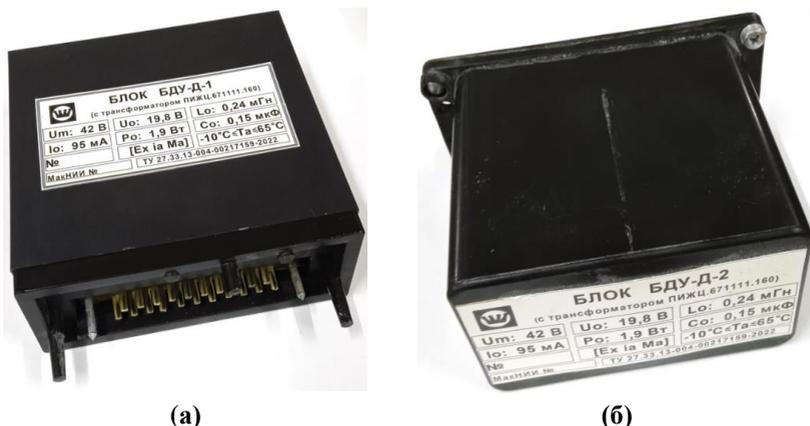


Рис. 1. Общий вид блока БДУ-Д-1 (а) и БДУ-Д-2 (б)

Fig. 1. General view of the BDU-D-1 (a) and BDU-D-2 (б)

Принципиальная электрическая схема блоков БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2 представлена на рис. 2 и состоит из следующих основных узлов [8]:

- стабилизированного источника питания драйвера ключей нижнего и верхнего уровней DA2, выполненного на транзисторе VT1[9];
- источника питания выходных усилителей исполнительного реле на диодах VD1, VD4, VD5;
- стабилизированного источника питания микропроцессора, выполненного на микросхеме DA1;
- основного измерительного органа – микроконтроллера DD1;
- элементов искрозащиты – R9, R14, R16, C14;
- драйвера DA2 для управления затворами полевых транзисторов;
- силовых ключей преобразователя VT2 и VT3;
- исполнительного реле K1.1.

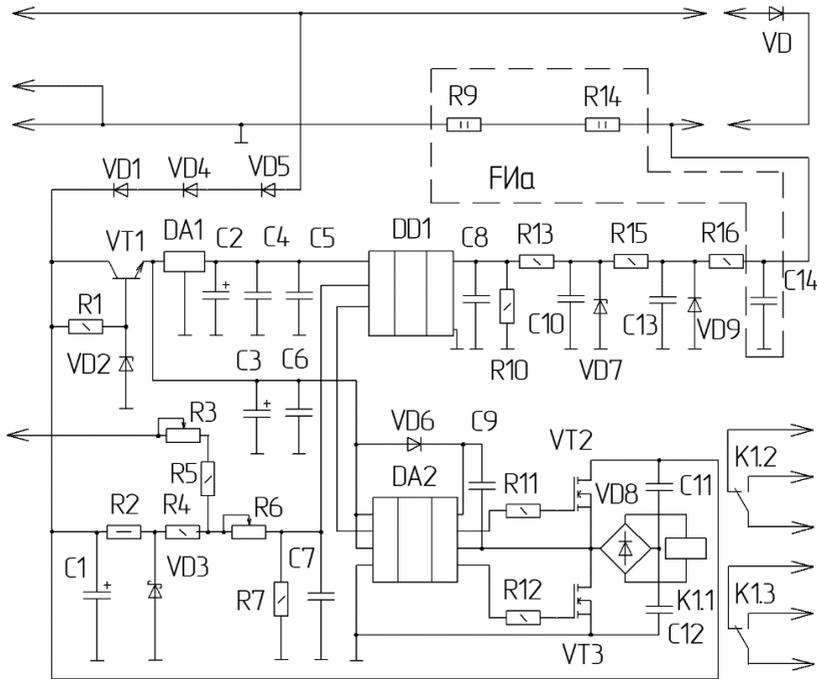


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема блоков БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2

Fig. 2. Electrical schematic diagram of BDU-D-1 and BDU-D-2

Входной сигнал, снимаемый с резисторов R9 и R14, через фильтр низкой частоты, собранный на элементах C8, C10, C13, C14, R13, R15 и R16, подается на 7-й вывод микропроцессора DD1. На 6-й вывод микропроцессора подается опорное напряжение. При выполнении определенного алгоритма, на выводе 3 микропроцессора формируется сигнал ШИМ. Данный сигнал поступает на вывод 2 драйвера ключей нижнего и верхнего уровней DA2. Нагрузкой ключей VT2 и VT3 является выходное реле K1.1. Для управления коммутационными аппаратами, работающими в реверсивном режиме, разработан блок БДУ-Д-Р. Общий вид блока БДУ-Д-Р представлен на рис. 3. Принципиальная электрическая схема блока БДУ-Д-Р представлена на рис. 4.



Рис. 3. Общий вид блока БДУ-Д-Р

Fig. 3. General view of BDU-D-R

В отличие от блоков БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2, БДУ-Д-Р имеет два канала управления и два исполнительных реле. Для предотвращения возможности одновременного включения двух коммутационных аппаратов, исполнительные реле заблокированы.

Принципиальная электрическая схема блока управления БДУ-Д-Р состоит из следующих основных узлов:

- стабилизированного источника питания драйвера ключей нижнего и верхнего уровней DA2, выполненного на транзисторе VT1;
- источника питания выходных усилителей исполнительного реле на диодах VDI, VD4, VD5;
- стабилизированного источника питания микропроцессора, выполненного на микросхеме DA1;
- основного измерительного органа – микроконтроллера DD1;
- элементов искрозащиты – R16 - R21, C17, C18;
- драйверов DA2, DA3 для управления затворами полевых транзисторов;
- силовых ключей преобразователя VT2 – VT5;
- исполнительных реле K1.1 и K2.1.

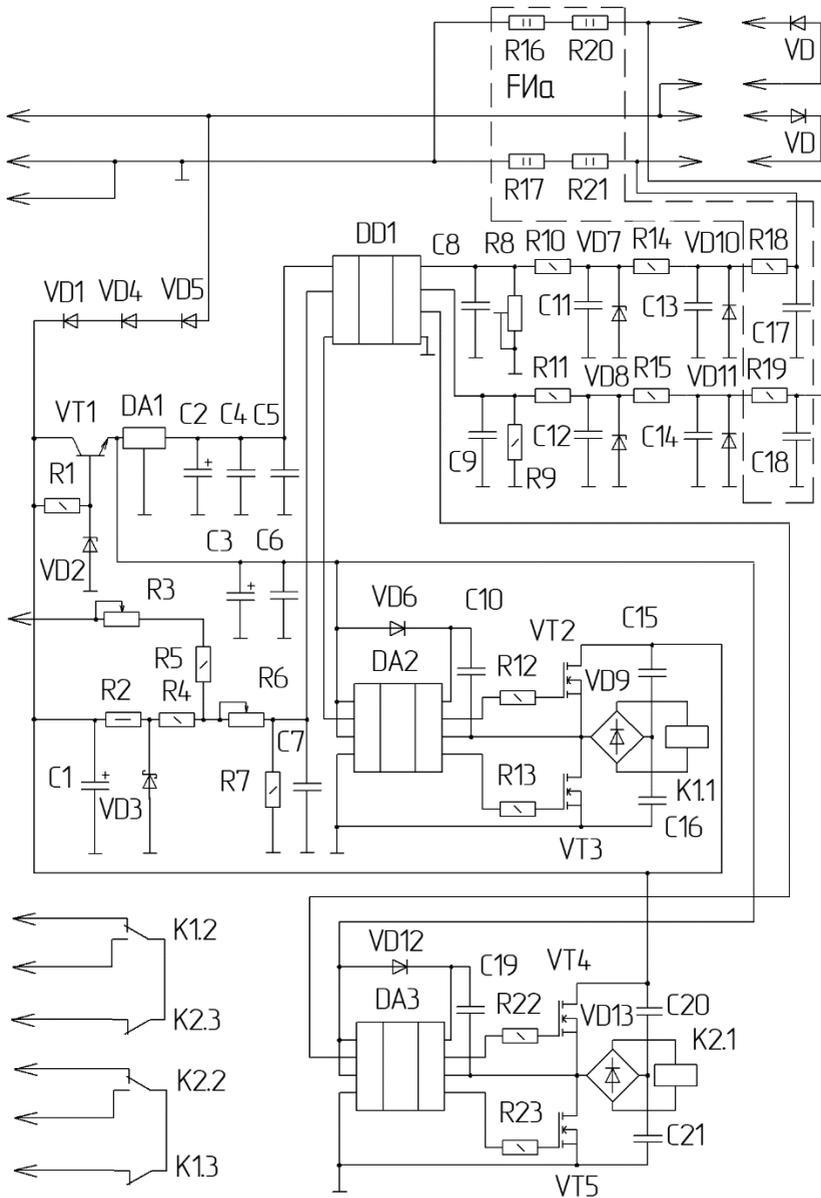


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема блока БДУ-Д-Р

Fig. 4. Electrical schematic diagram of the BDU-D-R

Входные сигналы, снимаемые с резисторов R16, R20 и R17, R21 через фильтры низкой частоты, собранные соответственно на элементах C8, C11, C13, C17, R10, R14, R18, и C9, C12, C14, C18, R11, R15, R19, подаются на 7-й и 6-й выводы микропроцессора DD1. На 5-й вывод микропроцессора подается опорное напряжение. При выполнении определенного алгоритма на выводе 2 или выводе 3 микропроцессора формируется сигнал ШИМ. Одновременное появление сигнала на выводах 2 и 3 заблокировано алгоритмом работы программы. Сформированный сигнал ШИМ поступает на выводы 2 драйверов ключей нижнего и верхнего уровней DA2 и DA3. Нагрузкой ключей VT2, VT3, VT4 и VT5 являются выходные реле K1.1 и K2.1.

Структурная схема программного обеспечения микропроцессорных устройств управления типа БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2 представлена на рис. 5 [10]. Основные параметры блоков типа БДУ-Д приведены в табл. 2.

Таблица 2.
Основные параметры блоков серии БДУ-Д

Table 2.
The main parameters of the BDU-D series

Наименование основных параметров	Значение
Номинальное напряжение питания, В	18
Частота сети, Гц	50
Напряжение на входных коммутирующих контактах, В	36
Допустимый ток коммутации выходными контактами, А, не более:	0,15
- постоянный, при $\tau \leq 0,015$ с	0,3
- переменный, при $\cos \varphi = 0,06$	

Электрическая схема блоков обеспечивает следующие виды защит:

- защиту от замыкания в цепях дистанционного управления;
- защиту от обрыва в цепях дистанционного управления;
- защиту от самовключения при кратковременном (не более 1 с) повышении напряжения сети до 150 % номинального;
- включение исполнительного элемента при сопротивлении цепи заземления до 20 Ом включительно, удержание исполнительного элемента при сопротивлении цепи заземления до 35 Ом включительно и отключение исполнительного элемента при сопротивлении цепи заземления свыше 35 Ом до 50 Ом включительно. Указанные параметры обеспечиваются при номинальном напряжении.

Механическая износостойкость элементов блоков не менее $3 \cdot 10^6$ циклов включений-отключений.

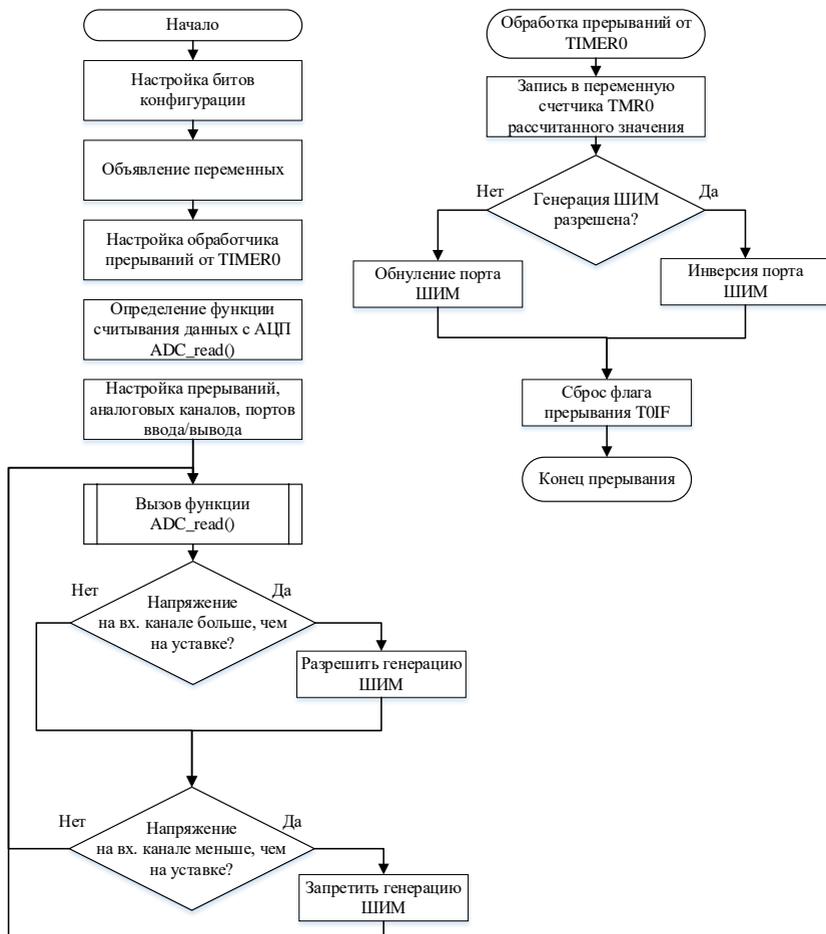


Рис. 5. Блок-схема программного обеспечения блоков серии БДУ-Д

Fig. 5. Block diagram of the software of the BDU-D series

III. Исследования и испытания

Лабораторным испытаниям были подвергнуты опытные образцы блоков дистанционного управления БДУ-Д-1, БДУ-Д-2 и БДУ-Д-Р. В результате были получены следующие данные.

Проводилось по три включения блоков при напряжении $15,3 \text{ В} \pm 2 \%$, $18 \text{ В} \pm 2 \%$, $19,8 \text{ В} \pm 2 \%$. Блоки включались при указанных параметрах и не отключались при отпущенной кнопке «ПУСК», а при нажатии кнопки «СТОП» отключались.

Проводилось по три включения блоков при напряжении $15,3 \text{ В} \pm 2 \%$ с последующим снижением напряжения до $11,7 \text{ В} \pm 2 \%$ на время не более 2 с. Блоки не отключались в течение 2 с при напряжении $11,7 \text{ В} \pm 2 \%$.

Имитировалось короткое замыкание проводов цепи дистанционного управления. При этом блоки во включенном положении отключались, а в отключенном – не включались.

Имитировался обрыв проводов цепи дистанционного управления. При этом блоки во включенном положении отключались, а в отключенном – не включались.

Испытание защиты проводилось при номинальном напряжении $15,3 \text{ В} \pm 2 \%$, $18 \text{ В} \pm 2 \%$, $19,8 \text{ В} \pm 2 \%$. Результаты срабатываний блоков представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3.
Результаты срабатываний блоков БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2

Table 3.
The results of the operation of the BDU-D-1 and BDU-D-2

Проверяемый блок	$U_{\text{пит}}, \text{ В}$	$R_{\text{вкл}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{откл}}, \text{ Ом}$
БДУ-Д-1	18,0	25	44
	19,8	24	44
	15,3	26	46
БДУ-Д-2	18,0	25	44
	19,8	24	44
	15,3	26	46

Таблица 4.
Результаты срабатываний блоков БДУ-Д-Р

Table 4.
The results of the operation of the BDU-D-R

Проверяемый блок	Режим	$U_{\text{пит}}, \text{ В}$	$R_{\text{вкл}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{откл}}, \text{ Ом}$
БДУ-Д-Р	«Вперед»	18,0	25	44
		19,8	24	42
		15,3	25	46
	«Назад»	18,0	24	43
		19,8	23	41
		15,3	25	46

Также блоки дистанционного управления подверглись испытаниям на воздействие нижнего и верхнего значений температуры окружающей среды при эксплуатации. Результаты температурных испытаний для блоков БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2 приведены на рис. 6.

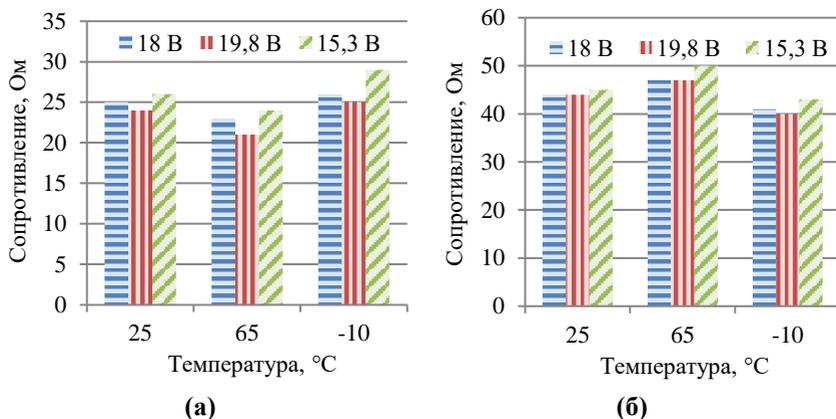


Рис. 6. Диаграмма изменения параметров блоков БДУ-Д-1 и БДУ-Д-2 в зависимости от температуры окружающей среды: изменение сопротивления срабатывания (а); отпущения (б)

Fig. 6. Diagram of changes in the parameters of the BDU-D-1 and BDU-D-2 depending on the ambient temperature change in response resistance (a); release resistance (б)

Результаты температурных испытаний для блока БДУ-Д-Р в режимах работы «Вперед» и «Назад» приведены на рис. 7. Основные технические характеристики блоков дистанционного управления удовлетворяют требованиям ГОСТ 31614-2012, обеспечивают стабильные характеристики в заданном диапазоне температур окружающего воздуха и превосходят по своим параметрам аналогичные устройства, выполненные на аналоговой базе.

IV. Заключение

Применение микроконтроллерной техники в устройствах управления позволило создать блок, обладающий стабильными характеристиками и расширенными функциональными возможностями.

Результаты, полученные при разработке серии блоков БДУ-Д, могут быть использованы в проектировании комплексных устройств защиты и управления в сетях напряжением до 1200 В.

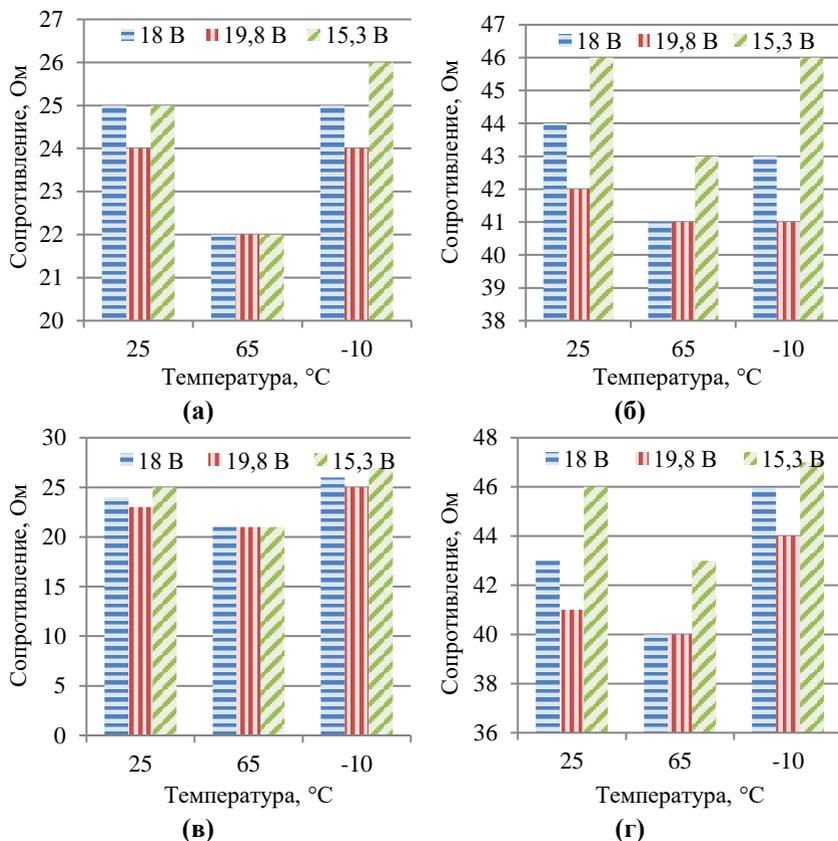


Рис. 8. Диаграмма изменения параметров блока БДУ-Д-Р в режиме работы «Вперед» (а, б) и «Назад» (в, г) в зависимости от температуры окружающей среды: изменение сопротивления срабатывания (а, в); отпускания (б, г)

Fig. 8. Diagram of changes in the parameters of the BDU-D-R in the Forward (а, б) and Backward (в, г) operation mode depending on the ambient temperature: change in the response resistance (а, в); release (б, г)

© Белошистов А.И., 2024

© Серов А.Л., 2024

© Белошистов А.А., 2024

Поступила в редакцию 26.06.2024

Принята к публикации 09.07.2024

Received 26.06.2024

Accepted 09.07.2024

Библиографический список

- [1] ГОСТ Р 58585-2019. Оборудование горно-шахтное. Общие требования безопасности к системам электроснабжения и управления. Введ. 2020-04-01. М.: Стандартиформ, 2019. – 14 с.
- [2] ГОСТ 30852.20-2002. Электрооборудование рудничное. Изоляция, пути утечки и электрические зазоры. Технические требования и методы испытаний. Введ. 2014-02-15. М.: Стандартиформ, 2013. – 18 с.
- [3] ГОСТ 31610.0-2014. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. Введ. 2016-12-01. М.: Стандартиформ, 2015. – 80 с.
- [4] ГОСТ 31610.11-2014. Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь «i»». Введ. 2016-12-01. М.: Стандартиформ, 2016. – 119 с.
- [5] Кёнинг А., Кёнинг М. Полное руководство по PIC-микроконтроллерам. Киев: МК-Пресс, 2007. – 255 с.
- [6] ГОСТ 31614-2012. Пускатели электромагнитные рудничные взрывозащищенные до 1140 В. Технические требования и методы испытаний. Введ. 2013-02-15. М.: Стандартиформ, 2013. – 19 с.
- [7] Катцен С. PIC-микроконтроллеры. Все, что вам необходимо знать. М.: Додэка-XXI, 2008. – 656 с.
- [8] Слесарев А.И., Моисейкин Е.В., Устьянцев Ю.Г. Аспекты проектирования электронных схем на основе микроконтроллеров. Екатеринбург: УрФУ, 2018. – 136 с.
- [9] Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. Киев: МК-Пресс, 2007. – 288 с.
- [10] Предко М. PIC-микроконтроллеры: архитектура и программирование. М.: ДМК Пресс, 2010. – 512 с.

References

- [1] Mining equipment. General safety requirements for power supply and control systems, GOST R 58585-2019, Jan. 2020.
- [2] Mining electrical equipment. Insulation, leakage paths and electrical gaps. Technical requirements and test methods, GOST 30852.20-2002, Feb. 2014.
- [3] Explosive atmospheres. Part 0. Equipment. General requirements, GOST 31610.0-2014, Dec. 2016.
- [4] Explosive atmospheres. Part 11. Equipment with type of explosion protection “intrinsically safe electrical circuit “i””, GOST 31610.11-2014, Dec. 2016.
- [5] A. Kyoning and M. Kyoning, *Polnoe rukovodstvo po PIC-mikrokontrolleram [A complete guide to PIC Microcontrollers]*. Kiev: MK-Press, 2007 (in Russian).
- [6] Explosion-proof mine electromagnetic starters up to 1140 V. Technical requirements and test methods, GOST 31614-2012, Feb. 2013.
- [7] S. Katzen, *The Quintessential PIC® microcontroller*, 2nd ed. Springer-Verlag London Limited, 2005.
- [8] A.I. Slesarev, E.V. Moisejkin and YU.G. Ust'yancev, *Aspekty proektirovaniya elektronnyh skhem na osnove mikrokontrollerov. [Aspects of designing electronic circuits based on microcontrollers]*. Ekaterinburg: Ural Federal University, 2018 (in Russian).

- [9] M. Brown, *Power Supply Cookbook*, 2nd ed. Elsevier Science, 2001.
- [10] М. Предко, *PIC-mikrokontrollery: arhitektura i programirovanie. [PIC microcontrollers: architecture and programming]*. Moscow: DMK-Press, 2007 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Белошистов Александр Иванович, **Aleksandr I. Beloshistov**, head of the integrated research department of electrical devices of the NIIVE, Donetsk, DPR, Russian Federation.

Серов Андрей Леонидович, младший научный сотрудник комплексного научно-исследовательского отдела электрических аппаратов ГБУ «НИИВЭ», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация. **Andrey L. Serov**, junior researcher of the integrated research department of electrical devices of the NIIVE, Donetsk, DPR, Russian Federation.

Белошистов Алексей Александрович, инженер-конструктор комплексного научно-исследовательского отдела электрических аппаратов ГБУ «НИИВЭ», г. Донецк, ДНР, Российская Федерация. **Alexey A. Beloshistov**, design engineer of the integrated research department of electrical devices of the NIIVE, Donetsk, DPR, Russian Federation.