

**П.М. Гофман**

канд. техн. Наук

E-mail: app\_sibstu@mail.ru

(Сибирский государственный технологический университет)

г. Красноярск, Российская федерация

**В. В. Колесник**

E-mail: balans78@inbox.ru

(Филиал ПАО «ОГК-2» - Красноярская ГРЭС-2)

г. Зеленогорск, Российская федерация

**И. В. Ковалев**

доктор техн. наук, профессор

**К. К. Перишаква**

младший научный сотрудник

E-mail: kleniks@yandex.ru

(ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Ф. Решетнева»)

г. Красноярск, Российская федерация

## Отечественные интеллектуальные бесконтактные реверсивные пускатели для АСУТП теплоэлектростанций средней мощности

В настоящей статье рассматриваются возможности применения отечественных интеллектуальных бесконтактных реверсивных пускателей (ПБР) в подсистемах дистанционного управления исполнительными механизмами автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) теплоэлектростанций средней мощности.

Выполнено исследование рынка отечественных разработчиков и производителей интеллектуальных ПБР. В статье анализируются только устройства, реализованные на базе микропроцессорной техники. Пускатели, реализованные на базе полупроводниковых элементов (серия пускателей - ПБР-ЗА, БиСТАРТ и др.), здесь не рассматриваются.

Проведен сравнительный анализ технических характеристик отечественных интеллектуальных бесконтактных реверсивных пускателей. Рассмотрены варианты повышения гибкости схем управления запорной и регулирующей арматурой (ЗРА) при внедрении интеллектуальных ПБР, показано применение последних в различных подсистемах АСУТП теплоэлектростанций, в том числе в подсистемах технологических защит и защитных блокировок, а также соответствие нормативным документам, регламентирующим построение и состав таких систем.

Материалы статьи будут полезны проектировщикам АСУТП тепловых электростанций (ТЭС) средней мощности, эксплуатационному персоналу, а также отечественным разработчикам интеллектуальных бесконтактных реверсивных пускателей.

Возможности интеллектуальных ПБР в схемах управления ЗРА ТЭС большой мощности не рассматриваются, так как часть электрифицированной запорной арматуры на этих электростанциях снабжена электродвигателями, имеющими мощность, превышающую возможности ПБР. Для данного типа арматуры используются электромеханические пускатели четвертой/пятой величины (в статье они не анализируются).

**Ключевые слова:** интеллектуальные бесконтактные реверсивные пускатели; программируемый логический контроллер; устройство связи с объектом; исполнительный механизм; тепловая электростанция; высокоскоростной интерфейс; запорная и регулирующая арматура; подсистема технологических защит и защитных блокировок; электродвигатель.

**P.M. Gofman**

C and. Of Techn. Sciences

E-mail: app\_jsibstu@mail.ru

(Siberian State Technological University)

Krasnoyarsk, Russian Federation

**V. V. Kolesnik**

E-mail: balans78@inbox.ru

(Branch of PJSC «OGK-2» – Krasnoyarsk GRES-2)

Zelenogorsk, Russian Federation

**I.V. Kovalev**

Doctor of Techn. Sciences, Professor

**K.K. Pershakova**

Junior Researcher

E-mail: kleniks@yandex.ru

(Siberian State Aerospace University)

Krasnoyarsk, Russian Federation

## Russian Smart Contactless Reversing Starters for Automatic Process Control Systems of Medium Thermal Power Plants

The article considers the applicability of Russian non-contact reversing starters in subsystems of distance control of automatic process control system actuators for medium thermal power plants.

The authors analyze the market of domestic developers and manufacturers of smart contactless reversing starters. The article only includes the analysis of microprocessor-based devices and does not consider semiconductor-based starters (such series of starters as PBR-3A, BiSTART and others).

The article provides a comparative analysis of the technical characteristics of Russian smart contactless reversing starters. The flexibility of control circuits of check and control valves can be increased by introducing smart contactless reversing starters in various automatic process control systems of thermal power plants, including the subsystems of technological protection and safety interlocks. The authors consider the compliance with regulatory documents guiding the construction and composition of such systems.

The article will be useful for designers of automatic process control systems of medium thermal power plants, operating personnel, as well as domestic developers of smart contactless reversing starters.

The authors do not consider the applicability of smart contactless reversing starters in control circuits of check and control valves of large thermal electric power plants, while a part of electric check valves at such power plants is equipped with electric motors with better capacities than those of contactless reversing starters. For this type of valves, electromechanical starters of the fourth (fifth) value are applied, though they are not analyzed in this article.

**Keywords:** intelligent contactless reversing starters; programmable logic controller; a communication device with the object; actuator; thermal power plant; high speed interface; shut-off and control valves; the subsystem of technological protection and protective interlocks; motor.

## Введение

На сегодняшний день отечественная промышленность разрабатывает и производит несколько видов пускателей для схем управления запорной и регулирующей арматурой (ЗРА) АСУТП тепловых электростанций средней мощности: электромеханические пускатели первой-третьей величины (серии ПМЕ-XXX, ПМ-XXX, ПМЛ-XXX, ПКЛ-XXX и т. д.); пускатели бесконтактные реверсивные первой-второй величины, реализованные на базе только полупроводниковой техники (серии ПБР-2(А), ПБР-3(А), ФЦ-0610, ФЦ-0620, У22, У24, АПМФ и т.д.) и интеллектуальные бесконтактные реверсивные пускатели первой-второй величины, реализованные на базе микропроцессорной техники (серии ПБР-ЗИ, ПБР-ТН(TS), БСТ-12Р/380-32(-33)).

Оба вида пускателей (полупроводниковые и микропроцессорные (интеллектуальные)) условно разделены по величинам номинального тока силовых контактов пускателей для подачи напряжения питания на электродвигатели ЗРА по аналогии с разделением на величины электромеханических пускателей.

Решение актуальной задачи интеллектуализации подсистемы дистанционного управления ЗРА возможно разными вариантами:

1) применением в схемах управления ЗРА подсистем дистанционного управления АСУТП электромеханических пускателей и пускателей бесконтактных реверсивных (ПБР), реализованных на базе только полупроводниковых элементов - входные командные дискретные сигналы в этом случае поступают от модулей дискретного вывода устройств связи с объектами (УСО) АСУТП по контрольным кабелям. При этом электромеханические пускатели и (или) ПБР располагаются в шкафах сборок распределительного токового подвижного оборудования (РТЗО), а модули дискретного вывода УСО нижнего уровня АСУТП располагаются на блочных щитах управления энергоблоков тепловых электростанций;

2) применением в схемах управления ЗРА электромеханических пускателей и пускателей бесконтактных реверсивных, реализованных на базе только полупроводниковых элементов, с подачей на них входных командных дискретных сигналов с модулей дискретного вывода УСО АСУТП, устанавливаемых в шкафах сборок РТЗО, с применением традиционной электрической проводки между модулями УСО и пускателями;

3) применением в схемах управления ЗРА подсистем дистанционного управления АСУТП интеллектуальных пускателей бесконтактных реверсивных, управляющие сигналы к которым подаются по цифровым каналам связи.

Рассмотрим вышеперечисленные варианты управления реверсивным электроприводом более подробно.

Согласно первому варианту программируемый логический контроллер (нижний уровень АСУТП), располагается в помещении блочного щита управления (БЩУ), от которого проложена кабельная трасса с контрольными кабелями, передающими дискретные сигналы управления и сигнализации, а также аналоговые сигналы положений исполнительных механизмов (ИМ) ЗРА.

Объем проводников в кабельных трассах достигает тысячи единиц. Данная цифра рассчитывается довольно просто. Например, для одной единицы регулирующей арматуры, управляемой реверсивным приводом, минимально необходимы три дискретных выхода (прямой ход, стоп, реверс), три дискретных входа (конечные выключатели положения - 2 ед. и положения вводного автомата - 1 ед.), один аналоговый вход АІ - датчик положения арматуры. Итого 10 жил кабеля с учетом общих проводников. В некоторых схемах управления количество связей возрастает до 16.

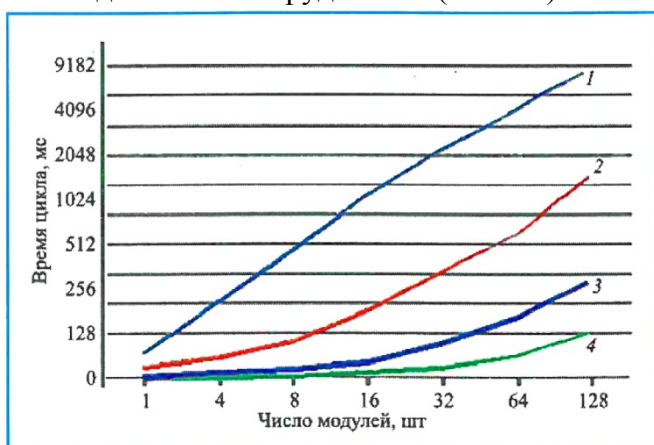
Для автоматизации энергоблока теплоэлектростанции средней мощности (150 МВт) используется около 140 единиц запорной, регулирующей арматуры и многооборотных электрических механизмов (МЭО), количество проводников контрольного кабеля достигает 1700 ед.

Следующий элемент стандартной схемы управления – это сборка РТЗО. Стандартная компоновка одного шкафа сборки РТЗО предусматривает подключение до 8-ми схем управления реверсивными ИМ. В свою очередь каждая схема состоит из вводного автомата с тепловой и динамической (токовой) защитой схемы, реверсивного пускателя (пара электромеханических пускателей), реле тока для контроля дожима (уплотненного закрытия) арматуры и реле «стопа» для остановки арматуры в среднем положении. Кроме большого количества проводников, у данной стандартной схемы имеются следующие общепризнанные недостатки:

- низкая надежность электромеханического пускателя, отсутствие контроля тока потребления ИМ, и, как следствие, отсутствие прогноза состояния механической части ЗРА;
- зависимость тепловой защиты вводного автомата и токового реле дожима от климатических условий места расположения шкафа РТЗО - частые ложные срабатывания тепловой защиты в летний период или необходимость ручной перестройки защиты;
- коммутационная сложность схемы управления и необходимость дополнительных реле при использовании в схеме местного и дистанционного управления ИМ;
- полная потеря контроля над схемой управления при срабатывании вводного автомата схемы.

Согласно второму варианту решение задачи интеллектуализации управления ИМ ЗРА подсистемы дистанционного управления АСУТП осуществляется путем т. н. интеллектуализации шкафов РТЗО – переноса программируемых логических контроллеров (ПЛК) целиком или только удаленных модулей УСО дискретных сигналов ПЛК либо в силовой шкаф, либо в шкафы со схемами управления ЗРА. В качестве пусковой аппаратуры применяются электромеханические пускатели или пускатели бесконтактные реверсивные, реализованные на базе полупроводниковой техники. При использовании современных контроллеров с резервированным высокоскоростным интерфейсом сигнальные кабельные связи от шкафа РТЗО до шкафа контроллеров становятся не нужными, что приводит к сокращению длины контрольного кабеля в несколько раз.

Необходимо отметить, что увеличение скорости обмена до 1,5 Мбайт/с (Profibus), т.е. практически на порядок выше, чем при работе по Modbus (рис. 1) [1], требуется для ответственных систем управления, критичных к времени срабатывания (например, защита по повышению скорости оборотов ротора турбины), с построением системы прямого цифрового управления - ответственной ЗРА, участвующей в подсистеме технологических защит с применением интеллектуальных шкафов низковольтных комплектных устройств (НКУ) или шкафов интеллектуального распределительного токового задвижного оборудования (ИРТЗО).



**Рис. 1.** Зависимость времени цикла устройств с интерфейсным управлением от числа модулей и скорости интерфейса: 1) Modbus 19 Кбайт/с; 2) Modbus RTU 115 Кбайт/с; 3) Profibus 1,5 Мбайт/с; 4) ST-BUS 1,25 Мбайт/с.

При этом шкаф должен оснащаться резервированным контроллером, обеспечивающим управление подчиненной арматурой по цифровым интерфейсам со скоростью, доступной встроенным ПЛК, и обмен информацией с другими контроллерами ПТК АСУТП по резервированным высокоскоростным интерфейсам [1 ...4].

Использование современных силовых и электронных коммутационных компонентов позволяет более чем в два раза увеличить наполняемость шкафа РТЗО по сравнению с типовым.

Обозначенные выше решения реализуются т. н. интеллектуальными РТЗО (ИРТЗО), производимыми АО «НВТ-Автоматика» г. Москва [5, 6]. Аналогичные решения реализуются и другими разработчиками и производителями оборудования АСУТП: Группа компаний Текон, Модульные Системы Торнадо (г. Новосибирск), КВИНТ (КВИНТ-СИ), ООО «Теплоприбор» (г. Москва).

Группа компаний Текон, Модульные Системы Торнадо (г. Новосибирск), КВИНТ (КВИНТ-СИ), ООО «Теплоприбор» (г. Москва).

Третьим вариантом решения задачи по автоматизации подсистемы дистанционного управления АСУТП является применение ПБР с интеллектуальным (цифровым управлением). Одним из первых разработчиком и производителем их в Российской Федерации является АО «ТРЭИ» (г. Пенза) [1.. 4].

Этот метод управления предоставляет важные преимущества, главное из которых – доступ к диагностической информации о состоянии арматуры и электропривода, но требует увеличения скорости и повышения надежности сетевых интерфейсов [1 ...4].

### Задача

На сегодняшний день только три российских компании осуществляют разработку и производство бесконтактных реверсивных пускателей: Научно-производственная фирма «Битек» (г. Екатеринбург), ОАО «АБС ЗЭИМ Автоматизация» (г. Чебоксары), АО «ТРЭИ» (г. Пенза).

Сравним технические характеристики и функциональные возможности пускателей каждого из вышеперечисленных российских производителей.

Таблица

### Характеристики интеллектуальных ПБР

№ п/п	Наименование характеристики	ПБР-ЗИ-16 ОАО «АБС ЗЭИМ Автоматизация»	ПБР-ТИ АО «ТРЭИ»	ПБР-ТС АО «ТРЭИ»	БСТ-12Р/380-32 (-33) БиСТАРТ НПФ «Битек»
	Технические характеристики				
1.	Номинальное напряжение сети частоты 50 Гц, В	380, 400, 415	323÷418	323÷418	380
1.1	Отклонение по напряжению питания	-15 %; +10 %	-15 %; +10 %	-15 %; +10 %	-15 %; +10 %
1.2	Отклонение по частоте 50 Гц	±2%	—	—	±15%
2.	Номинальный ток подключаемого электродвигателя	15	16	16	18
3.	Минимальная мощность электродвигателя, Вт	40	90	90	40
4.	Коммутируемый ток электродвигателя				
4.1	В продолжительном режиме включения	10	16	16	12
4.2	при ПВ - 25 % и частоте включений 630 вкл/ч, А, не более	16	16	16	12
5.	Максимальная амплитуда тока короткого замыкания (t=10 мс), А	—	300	300	500
6.	Диапазон мощности подключаемого электродвигателя, кВт	0,04÷11,0	0,09÷7,5	0,09÷7,5	0,04÷5,5
7.	Падение напряжения на силовых ключах, В, не более (на каждой фазе)	3	4	4	—
8.	Максимальный ток утечки с силовых ключей при отсутствии сигнала управления на входе, mA, не более	7	3	3	—
9.	Напряжение питания цепей управления, В	24÷42	21÷27	21÷27	10÷50
10.	Мощность, потребляемая, Вт, не более	8	2, 5	2, 5	20 ВА (≈14 Вт)

11.	Тип протокола связи	Modbus RTU	Modbus RTU, ST-BUSM, ProfiBus	Modbus RTU, ST-BUSM	—
12.	Наличие слота для работы с SD-картами	—	—	MicroSD До 4 ГБ	—
13.	Физическая реализация и режим обмена Modbus RTU	Интерфейс RS-485 асинхронный полудуплекс	Интерфейс RS-485 полный дуплекс/ полудуплекс/ дублированный полудуплекс	Интерфейс RS-485 полный дуплекс/ полудуплекс/ дублированный полудуплекс	—
14.	Скорость передачи, Кбит/с	4800÷57600	1,5 Мбит/с	—	—
15.	Максимальная длина линии связи (в зависимости от скорости), м	1200	1200	1200	—
15.1	Нагрузочная способность (количество приемопередатчиков с входным импедансом 96 кОм)	256			—
15.2	Нагрузочная способность (количество приемопередатчиков с входным импедансом 12 кОм)	32			—
16.	Сигнал датчика положения выходного органа электропривода, мА	0÷5, 0÷20, 4÷20 (DC)	0÷20 (DC)		
17.	Сигнал задания положения выходного органа электропривода от системы управления	0÷5, 0÷20, 4÷20 мА (DC); 0-10В	0÷5, 0÷20, 4÷20 мА (DC)		
18.	Электрическая прочность изоляции цепей пускателя 380 В относительно корпуса, VDC, не менее	1500	2500	2500	—
19.	Электрическая прочность изоляции цепей управления' относительно корпуса, VDC, не менее	500	2500	2500	—
20.	Электрическая прочность изоляции цепей пускателя 380 В относительно цепей управления, VDC, не менее	1500	2500	2500	2000
21.	Электрическая прочность изоляции цепей цифровой связи, VDC, не менее	—	2500	2500	—
22.	Электрическое сопротивление изоляции между отдельными электрическими цепями и между этими цепями и корпусом, МОм	Не менее 40	Не менее 20	Не менее 20	Не менее 20
23.	Степень защиты оболочки (по ГОСТ 14254)	IP20	IP20	IP20	IP20
24.	Наработка на отказ, часов, не менее	—	80 000	80 000	100 000
25.	Средний срок службы, лет, не менее	10	10	10	10
26.1.	Максимальная площадь сечения провода, мм <sup>2</sup> цепей управления	1,5	—	—	2,5



26.2	Максимальная площадь сечения провода, мм <sup>2</sup> силовых цепей	3,0	—	—	4,0
27.	Рабочее положение в пространстве	любое	любое	любое	вертикальное
28.	Возможность применения в системах, влияющих на безопасность	Только в системах нормальной эксплуатации	ДА (при работе с протоколами ST-BUSM и ProfiBus)	ДА (при работе с модулями УСО)	ДА (при работе с модулями УСО)
29.	Разрешительная документация	Сертификат соответствия ГОСТ Р 52931-2008 и ТУ на изготовление	Сертификат соответствия ТР ТС 004/211 «О безопасности низковольтного оборудования» ТРТС 020/211 «Электромагнитная совместимость технических средств»	Сертификат соответствия ТРТС 004/211 «О безопасности низковольтного оборудования» ТР ТС 020/211 «Электромагнитная совместимость технических средств»	—
30.	Условия эксплуатации				
31.1.	Температура окружающего воздуха	-10÷+55 °С	-40÷+60 °С	-40÷+60 °С	-10÷+60°С
31.2.	Относительная влажность	98 % при 35 °С	30÷85 % при 35 °С	30÷85 % при 35 °С	80 % при 25 °С
31.3.	Вибрации		Частотой 30÷500 Гц при ускорении 4,9 м/с <sup>2</sup> (0,5g)	Частотой 30÷500 Гц при ускорении 4,9 М/с <sup>2</sup> (0,5g)	Амплитуда Вибрации 5÷35 Гц 0,35 мм

Для сравнения выбраны интеллектуальные пускатели бесконтактные реверсивные для управления ЗРА теплоэлектростанций средней мощности с усредненными мощностями электродвигателей – 7,5 кВт.

В *Таблицу* сравнения вошли только характеристики, имеющиеся в технической документации для большинства рассматриваемых интеллектуальных ПБР.

В соответствии с данными таблицы проведем анализ технических характеристик и функциональных возможностей интеллектуальных ПБР.

По напряжению питания явного лидера выделить не представляется возможным - интеллектуальные ПБР всех трех производителей имеют напряжение питания 380 В с одинаковым диапазоном отклонения -15 %; +10 %.

По номинальному току и максимальной мощности электродвигателя - явным лидером являются интеллектуальные пускатели ПБР-ЗИ (рис. 2) (производитель ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация», г.Чебоксары), разрабатывающий и выпускающий линейку интеллектуальных пускателей с возможностью применения в схемах питания и управлений электродвигателями мощностью до 11 кВт) [7].

Возможностью питания и управления электродвигателями с минимальной мощностью исполнительных механизмов ЗРА 40 Вт обладают интеллектуальные ПБР (разработчик и производитель «АБС ЗЭиМ Автоматизация» (г. Чебоксары), ПБР-ЗИ и БСТ-12Р/380-32(-33) (разработчик и производитель - НПФ «Битек», г. Екатеринбург) [7, 8].

Интеллектуальные пускатели ПБР-ТИ (ТС) (разработчик и производитель АО «ТРЭИ», г. Пенза) менее предпочтительны [9, 10]. Стоит отметить, что в настоящее время на ТЭС средней мощности не применяются электроприводы с номинальной мощностью 40 Вт на выходном валу. По этой причине для применения в схемах питания и управления ЗРА можно использовать интеллектуальные пускатели всех четырех серий.

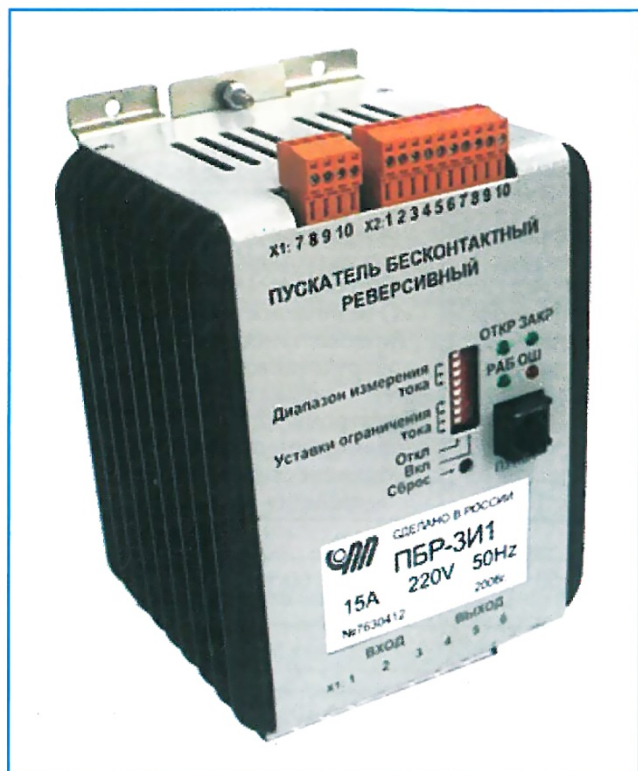


Рис. 2. Интеллектуальный пускатель ПБР-3И

По коммутируемому току электродвигателя как в режиме продолжительного включения, так и в повторно-кратковременном режиме явными лидерами являются интеллектуальные бесконтактные реверсивные ПБР-ТИ (ТС) производства АО «ТРЭИ» (г. Пенза) с коммутируемым током 16 А [9, 10]. Но в то же время необходимо обратить внимание на то, что линейка производимых АО «ТРЭИ» интеллектуальных ПБР на этой цифре заканчивается, тогда как ПБР-3И (производитель - «АБС ЗЭиМ Автоматизация») предоставляет возможность применения в схемах питания и управления электродвигателями исполнительных механизмов ЗРА с мощностью до 11 кВт и коммутируемым током 24 А [7].

Интеллектуальные бесконтактные реверсивные ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) (разработчик и производитель - НПФ «Битек», г. Екатеринбург) выгодно отличаются от интеллектуальных ПБР других производителей, в частности - ПБР-ТИ (ТС) производства АО «ТРЭИ» по максимальной амплитуде тока короткого замыкания 500 А [8...10]. По ПБР-3И сведения об этой характеристике отсутствуют.

Диапазон мощностей (0,04... 11,0 кВт) самый широкий у интеллектуальных ПБР-3И. Он покрывает весь спектр питания электродвигателями ЗРА для тепловых электростанций средней мощности [7]. В то же время при проектировании АСУТП ТЭС средней мощности необходимо учесть, что интеллектуальные БСТ-12Р/380-32(-33) перекрывают только половину требуемого спектра мощностей электродвигателей исполнительных механизмов ЗРА, что приведет к непродуктивному расширению номенклатуры пускателей для проектируемой запорной арматуры [8].

Падение напряжения на силовых ключах на каждой фазе интеллектуальные ПБР производства АО «ТРЭИ» и «АБС ЗЭиМ Автоматизация» идут практически на одном уровне: 3 и 4 В соответственно [7...10]. По интеллектуальному пускателю бесконтактному реверсивному БСТ-12Р/380-32(-33) данные по падению напряжения на силовых ключах на каждой фазе не приводятся.

Лучший показатель максимального тока утечки с силовых ключей при отсутствии сигнала управления на входе (не более 4 мА) у интеллектуальных ПБР – ТИ (ТС), тогда как у ПБР-3И ток утечки на входе - до 7 мА [7... 10]. Для интеллектуальных ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) (рис. 3) информация о максимальном токе утечки с силовых ключей при отсутствии сигнала управления отсутствует.

Наиболее широкий спектр напряжений питания цепей управления реализован у интеллектуальных ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) (от 10 до 50 В) [8]. Правда, необходимо отметить, что в настоящее время производители, разработчики и проектировщики АСУТП стремятся к унификации данного параметра, приняв его 24 В.

С точки зрения такого показателя, как энергоэффективность, наилучшие характеристики по потребляемой мощности у интеллектуальных ПБР-ТИ (ТС) – 2,5 Вт, тогда как у ПБР-3И с аналогичными функциями она составляет 8 Вт, а у интеллектуальных ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) - 14 Вт. При массовой эксплуатации этот параметр является одним из ключевых показателей энергоэкономии [7... 10].

По развитости типов внешнего интерфейса лидерами являются интеллектуальные пускатели производства АО «ТРЭИ», поддерживающие три протокола обмена данными: два самых распространенных – ModBus RTU, ProfiBus а также ST-BUSM, разработанный самой компанией TREI [9,10]. Важно отметить, что при выборе ProfiBus или ST-BUSM, обладающих сравнительно высокими скоростями обмена данными, интеллектуальные ПБР-ТИ можно использовать в подсистемах технологических защит

и защитных блокировок уровней SIL3 и SIL4 согласно ГОСТ 61.508-2007 в АСУТП ТЭС средней мощности [11, 12].

Применение данного типа пускателей дает возможность реализовывать полнофункциональные АСУТП распределенного типа с максимально близким расположением интеллектуальных ПБР у исполнительных механизмов, а также решение задач по интеллектуализации подсистемы дистанционного управления ЗРА по любому из вариантов (см. выше) [1, 2, 5, 6, 13, 14].

Интеллектуальные ПБР-ЗИ в подсистемах ТЗиЗБ АСУТП не применяются, поскольку они, как указано в их технической документации, должны применяться в системах нормальной эксплуатации, не влияющих на безопасность [7].



*Рис. 3. Интеллектуальный пускатель серии БиСТАР-Р БСТ-12Р/380-32 (-33)*

У интеллектуальных ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) внешний интерфейс отсутствует и поэтому решение задачи по интеллектуализации подсистемы дистанционного управления ЗРА возможно только посредством дискретных сигналов от модулей У СО ПЛК, устанавливаемых либо на БЩУ, либо в шкафу сборки РТЗО.

Наличие сетевого интерфейса в интеллектуальных ПБР-ТИ, ПБР-ЗИ позволяет диагностировать состояние ЗРА в режиме реального времени с соответствующей реакцией эксплуатационного персонала на возникновение неисправностей.

Слот для карты памяти имеется только в интеллектуальных пускателях серии ПБР-TS (рис. 3) [10].

Но следует иметь в виду, что для интеллектуальных

пускателей серий ПБР-ТИ и ПБР-ЗИ слот для карты памяти и не требуется, т. к. хранение данных о состоянии пускателя и самой схемы питания и управления ЗРА осуществляется на серверах АСУТП. У интеллектуального ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) есть небольшая по объему внутренняя память, позволяющая сохранять последние 8... 10 операций, но этого недостаточно для решения задач по интеллектуализации ЗРА в рамках поставленной задачи [8].

Больше вариантов работы с протоколами передачи данных (ModBUS RTU, ProfiBus и ST-BUSM) у интеллектуальных ПБР серий ПБР-ТИ и ПБР-TS с дублированным интерфейсом RS-485, что предоставляет максимальные возможности для создания высоконадежных сетей, особенно для интеллектуализации ЗРА, участвующей в подсистеме ТЗиЗБ АСУТП [9... 11]. У устройств БСТ-12Р/380-32(-33) внешний интерфейс отсутствует.

Вопрос приоритета в скорости передачи данных необходимо рассматривать с точки зрения требований стандарта физического уровня RS-485: устройство обязательно должно поддерживать скорости обмена 9600 и 19200 бит/с, из них 19200 бит/с устанавливается по умолчанию. Допускаются также скорости 1200, 2400, 4800, ... 38 400 бит/с, 65 и 115 Кбит/с. Скорость передачи должна выдерживаться в передатчике с погрешностью не менее 1 %, а приемник должен принимать данные при отклонении скорости передачи до 2%.

Отсюда можно сделать определенный вывод: ПБР-ЗИ с техническими данными в 4800...57600 Кбит/с можно применить для решения задачи по интеллектуализации схем управления ЗРА АСУТП по первому варианту: модули УСО располагаются на БЩУ вблизи от ПЛК и выдают дискретные сигналы управления на ПБР-ЗИ, расположенные в сборках РТЗО, располагаемых на «полевом» уровне, (как ва



*Рис. 4. Интеллектуальный пускатель ПБР-TS*



риант – проектирование установки ПБР-ЗИ в шкафах и панелях, расположенных на БЩУ); или второму варианту: модули УСО дискретного вывода располагаются в шкафах сборок РТЗО, расположенных в «поле» (вне БЩУ).

Если для РСУ, не критичных по времени, может быть использован любой протокол, то для РСУ быстрых техпроцессов и систем ПАЗ выбор возможен только в пользу PROFIBUS и ST-BUS. Но даже в этом случае цикл обмена  $T = 384$  мс (PROFIBUS) и  $T = 128$  мс (ST-BUS) для 128 устройств может оказаться неприемлемым. ПБР-ТИ (TS) со скоростями передачи данных 1,5 Мбит/с можно использовать для решения задачи интеллектуализации схем питания и управления ЗРА АСУТП по всем трем вариантам, включая применение по третьему варианту: полное дублированное цифровое управление в схемах ЗРА, участвующих в подсистеме ТЗ и ЗБ АСУТП.

Согласно требованиям стандарта физического уровня RS-485 [7, 9, 10] максимальная длина линии связи для сравниваемых ПБР составляет 1200 м.

Заявленная в технической документации нагрузочная способность (256 абонентов с входным импедансом 96 кОм и 32 абонента с входным импедансом 12 кОм) у ПБР-ЗИ соответствует требованиям электрических характеристик стандарта RS-485. Однако данные технические характеристики не позволяют использовать ПБР-ЗИ в подсистемах ТЗ и ЗБ, так как при числе ЗРА в 100 единиц цикл контроллера составляет более 100 мс, что не соответствует требованиями к применению микропроцессорных устройств в системах противоаварийной защиты (ПАЗ) [11].



*Рис. 5. Интеллектуальный пускатель ПБР-ТИ*

Возможность приема и обработки сигналов датчиков задания и положения выходного органа электропривода системой управления реализована только в интеллектуальных пускателях серии ПБР-ЗИ и ПБР-ТИ (рис. 5) [7, 9].

По электрической прочности изоляции цепей относительно корпуса пускателя на напряжение 380 В предпочтительнее интеллектуальные ПБР серий ПБР-ТИ и ПБР-TS с самой высокой (не менее 2500 В) электрической прочностью [9, 10]. Тогда как у ПБР-ЗИ электрическая прочность изоляции пускателя не менее 1500 В [7]. Данные по ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) производитель не приводит.

Самая высокая заявленная в технической документации электрическая прочность изоляции цепей управления относительно корпуса – не менее 2500 В, у интеллектуальных пускателей серий ПБР-ТИ и ПБР-TS [9,10]. В то время как у ПБР-ЗИ электрическая прочность изоляции цепей управления не менее 500 В. Данные по ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) отсутствуют.

По электрической прочности изоляции цепей пускателя 380 В относительно цепей управления с характеристикой не менее 2500 В лидируют интеллектуальные пускатели серий ПБР-ТИ и ПБР-TS [9, 10]. У интеллектуального пускателя ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) и ПБР-ЗИ электрическая прочность соответственно не менее 2000 В и 1500 В [7, 8].

Электрическая прочность изоляции цепей цифровой связи - не менее 2500 В, заявлена только у ПБР-ТИ и ПБР-TS [9, 10]. Данные по ПБР-ЗИ отсутствуют.

Наиболее высокий показатель электрического сопротивления изоляции между отдельными электрическими цепями и между этими цепями и корпусом – 40 МОм у интеллектуального пускателя ПБР-ЗИ [7]. У интеллектуальных пускателей ПБР-ТИ, ПБР-TS и интеллектуального ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) этот показатель составляет 20 МОм [8, 9, 10].

Степень защиты оболочки (по ГОСТ 14254) у всех четырех интеллектуальных пускателей одинаков – IP20 [7...10].

По наработке на отказ самый высокий показатель у интеллектуальных ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) - 100 000 часов [8]. У пускателей ПБР-ТИ и ПБР-TS наработка на отказ - 80 000 часов [9, 10]. Информация по наработке на отказ у ПБР-ЗИ отсутствует.

Средний срок службы не менее 10 лет у всех четырех пускателей [7... 10].

Максимальная площадь сечения проводов цепей управления и силовых цепей заявлена только у ПБР-ЗИ и интеллектуального ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) [7, 8]. Лидером по данным характеристикам является ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) с возможностью подключения проводов сечений  $2,5 \text{ мм}^2$  – для проводов цепей управления, и  $4 \text{ мм}^2$  – для цепей питания электродвигателя.

По рабочему положению пускателя в пространстве явного лидера среди трех нет. Пускатели ПБР-ЗИ, ПБР-ТИ и ПБР-TS могут работать в любом положении [7, 9, 10], а вот интеллектуальные ПБР серии БСТ-12Р/380-32(-33) могут работать только в вертикальном положении [8].

По пригодности к применению в системах, влияющих на безопасность, с учетом всех вышеперечисленных характеристик лучшие показатели у интеллектуальных пускателей серий ПБР-ТИ и ПБР-TS. Их внедрение делает возможным решение задач по интеллектуализации схем управления ЗРА по все трем вариантам [9... 11].

Разработчик и производитель «АБС ЗЭиМ Автоматизация» пускателей ПБР-ЗИ отметил в технической документации, что они могут использоваться в системах нормальной эксплуатации, не влияющих на безопасность [7]. Авторы статьи полагают (на основании ст. 7 ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» п. 3, указывающей, что Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности могут быть предусмотрены возможность, порядок и сроки опытного применения технических устройств на опасном производственном объекте без проведения экспертизы промышленной безопасности при условии соблюдения параметров технологического процесса, отклонения от которых могут привести к аварии на опасном производственном объекте), что их применение в подсистемах ТЗ и ЗБ ТЭС средней мощности по первому и второму вариантам интеллектуализации ЗРА возможно после проведения испытаний и опытной эксплуатации.

Данные по применению ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) в подсистемах ТЗ и ЗБ отсутствуют. Варианты применения их в подсистемах ТЗ и ЗБ по первому и второму вариантам интеллектуализации ЗРА также требуют проведения испытаний и опытной эксплуатации.

Наиболее полная разрешительная документация представлена у ПБР-ТИ и ПБР-TS. По интеллектуальным ПБР-ЗИ имеется только сертификат соответствия ТУ и ГОСТ ГОСТ Р 52931-2008. Поэтому его применение в АСУТП тепловых электростанций и особенно на оборудовании подконтрольном Ростехнадзору проблематично.

По интеллектуальному ПБР серии БСТ-12Р/380-32(-33) никаких разрешительных документов не существует. Поэтому вопрос о применении в АСУТП ТЭС средней мощности и, особенно, в подсистемах, связанных с безопасностью (подсистемы ТЗ и ЗБ) необходимо решать через проведение испытаний в фазе опытной эксплуатации.

Самый широкий диапазон температур окружающей среды у интеллектуальных пускателей ПБР-ТИ и ПБР-TS (-40...+60), включая отрицательные температуры [9, 10]. Далее идут БСТ-12Р/380-32(-33) и ПБР-ЗМ с диапазоном -10...+60 и -10...+55 соответственно [7, 8]. Следует отметить, что у интеллектуальных пускателей всех четырех серий температурный диапазон соответствует требованиям к применению в АСУТП ТЭС средней мощности с нормальными условиями эксплуатации.

Для работы в условиях влажности самые лучшие показатели у интеллектуальных пускателей ПБР-ЗИ с допускаемой возможностью работы в условиях 98 %-й влажности [7]. Интеллектуальные ПБР-ТИ и ПБР-TS допускают работу в условиях влажности 85 %. Хуже этот показатель у интеллектуального пускателя ПБР БСТ-12Р/380-32(-33) – 80 % [8... 10].

По условиям работы в условиях вибрации (30...500 Гц) [9, 10] у пускателей ПБР-ТИ и ПБР-TS вполне приемлемые для ТЭС характеристики. Информация по вибростойкости ПБР-ЗИ не приводится [7].

## Вывод

Проделанная сравнительная оценка технических характеристик отечественных интеллектуальных пускателей бесконтактных реверсивных показывает, что наиболее предпочтительным для применения в системах контроля и управления ТЭС средней мощности являются интеллектуальные ПБР, производимые фирмой АО «ТРЭИ» (г. Пенза). Их возможности, превосходят другие отечественные аналоги по большинству технических параметров.

Интеллектуальные ПБР серий ПБР-ТИ и ПБР-ТС открывают большие возможности для решения любых задач интеллектуального управления ЗРА СКУ ТП теплоэлектростанций средней мощности. В том числе в АСУТП ответственных применений, одной из подсистем которых являются подсистемы технологических защит.

## Заключение

Анализ технических характеристик и практика использования бесконтактных реверсивных интеллектуальных пускателей на отечественных ТЭС средней мощности показали, что интеллектуальные ПБР, производимые рядом отечественных компаний для электрических схем управления ЗРА ТЭС средней мощности, применимы наряду с электромеханическими пускателями, а по многим показателям и возможностям превосходят их.

Современные ПБР, производимые отечественными предприятиями, открывают большие возможности в решении задач построения подсистем дистанционного управления ЗРА. Ряд рассматриваемых моделей применим в подсистемах ТЗ и ЗБ с прямым цифровым управлением исполнительным механизмом ЗРА АСУТП теплоэлектростанций средней мощности, а при определенных схемных решениях появляется возможность применения в данных подсистемах всей линейки интеллектуальных отечественных ПБР.

## Список литературы

1. Рогов С.Л. Применение интеллектуальных устройств управления реверсивным приводом в системах РСУ и ПАЗ // *Технические и программные средства автоматизации*. 2012, № 2. С. 43-47.
2. Рогов С.Л. Распределенные АСУТП в энергетике - мода или необходимость // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2008, № 5. С. 15-21.
3. Рогов С.Л. Интеграция АСУТП и НКУ 0,4 кВ // *Автоматизация в промышленности*. 2014, № 4. С. 38-40.
4. Рогов С.Л. Устройства управления реверсивным приводом в АСУТП энергетических объектов // *Электрические станции Энергопресс*. 2013, № 5. С. 50-53.
5. Менделевич В.А. Интеллектуальное управление арматурой // *Автоматизация и ИТ в энергетике*. 2011, № 6. С. 28-34.
6. Менделевич В.А. Управление исполнительными устройствами в программно-техническом комплексе «Саргон» // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2003, № 1. С. 7-14.
7. *Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-ЗИ* / Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421235.013 РЭ. Чебоксары: ОАО «ЗЭИМ Автоматизация». 113 с.
8. *Многофункциональные реверсивные бесконтактные пускатели серии БиСТАРТ-Р для исполнительных механизмов регулирующей и запорной арматуры, модели: БСТ-12Р/380-32 БСТ-12Р/380-33 БСТ-12РА/380-33 (для АЭС). Универсальные модели для управления трехфазными и однофазными электродвигателями мощностью от 0,04 до 7,5 кВт*. Екатеринбург: Электронный каталог НПФ «Битек». 2011, 24 с. Электронный ресурс: [http://www.bitek-e.ru/bistart\\_im.html](http://www.bitek-e.ru/bistart_im.html)
9. *Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-ТИ. Исполнение ПБР-ТИ* / Руководство по эксплуатации. TREI.421811.001-02РЗ. Пенза: АО «ТРЭИ». 2015, 44 с.
10. *Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-Т. Исполнение ПБР-ТС* / Руководство по эксплуатации. TREI.421811.001-03РЭ. Пенза: АО «ТРЭИ». 2015, 34 с.
11. *Технические требования к подсистеме технологических защит, выполненных на микропроцессорной технике*. М.: Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России», 2000. Электронный ресурс: <http://www.gosthelp.ru/text/rdl533413513700texnichesk.html>
12. *ГОСТ Р МЭК 61508-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых*

электронных, связанных с безопасностью. 2014, часть 1-5.

13. *Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУТП тепловых электростанций РД153-34.1-35.127-2002*. М.: Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России», 2002.
14. Федоров Ю.Н. *Порядок создания. Модернизации и сопровождения АСУТП*. М.: Инфра-Инженерия, 2013. 576 с.
15. *BiSTART-P - реверсивные устройства плавного пуска, динамического торможения и защиты асинхронных двигателей* (пресс-релиз). *Электронный ресурс*: <http://www.bitek-e.ru/bistartjpress-release.html>

## References

1. Rogov S.L. Primenenie intellektualnykh ustroystv up- raveniya reversivnym privodom v sistemakh RSU i PAZ [Application of intelligent control devices reverse drive in the DCS and ESD systems]. *Tekhnicheskie i programnye sredstva avtomatizatsii* [Technical and software tools of automation]. 2012, no. 2, pp. 43-47.
2. Rogov S.L. Raspredeleyenyye ASUTP v energetike-moda ili neobkhodimost [Distributed automation systems in the energy sector - fashion or necessity]. *Promyshlennyye ASU i kontrolyery* [Industrial Automatic Control Systems and Controllers]. 2008, no. 5, pp. 15-21.
3. Rogov S.L. Integratsiya ASUTP i NKU 0,4 kV [Integrating PCS and GCC 0.4 kV], *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in industry]. 2014, no. 4, pp. 38-40.
4. Rogov S.L. Ustroystva upravleniya reversivnym privodom v ASUTP energeticheskikh obektov [Control devices for reverse drive in the PCS power projects]. *Elektricheskie stantsii Energopress* [Electric stations Energopress]. 2013, no. 5, pp. 50-53.
5. Mendelevich V.A. Intellektualnoe upravlenie armaturoy [Intelligent control valves]. *Avtomatizatsiya i IT v energetike* [Automation & IT in power engineering], 2011, no. 6, pp. 28-34.
6. Mendelevich V.A. Upravlenie ispolnitelnymi ustroystvami v programmno-tehnicheskom komplekse «Sargon» [Management of Executive devices in a program- technical complex «Sargon»]. *Promyshlennyye ASU i kontrolyery* [Industrial Automatic Control Systems and Controllers]. 2003, no. 1, pp. 7-14.
7. *Puskatel beskontaktnyy reversivnyy PBR-3I. Rukovodstvo po ekspluatatsii YaLBI.421235.013 RE* [Reversing starter contactless FGP-3I. Operation Manual YALBI.421235.013 OM]. Cheboksary: OAO «ZEiM Avtomatizatsiya» [Cheboksary: JSC «ZEiM Automation»]. 113 p.
8. *Mnogofunktsionalnye reversivnye beskontaktnye puskateli serii BiSTART-R dlya ispolnitelnykh mekhanizmov reguliruyushchey i zapornoj armatury, modeli: BST-12RJ380-32 BST-12R/380-33 BST-12RA/380-33 (dlya AES). Universalnye modeli dlya upravleniya trekhfaznymi i odnofaznymi elektrodvigatelyami moshchnostyu ot 0,04 do 7,5 kVt* [Multifunction contactless reversing contactors series BiSTART-R for regulating the actuators and valves, model: BLS-12R / 12R-380-32 BLS / BLS-12RA 380-33 / 380-33 (NPP). Universal model to control three-phase or single phase motors with power from 0.04 to 7,5 kW], Yekaterinburg: Elektronnyy katalog NPF «Bitek» [Yekaterinburg: OPAC NPF «Bitek»]. 2011, 24 p. Available at: [http://www.bitek-e.ru/bistart\\_im.html](http://www.bitek-e.ru/bistart_im.html)
9. *Puskatel beskontaktnyy reversivnyy PBR-TI. Ispolnenie PBR-TI. Rukovodstvo po ekspluatatsii. TREI.421811.001-02RE* [Reversing starter contactless PBR-TI. Implementation of PBR-TI. Owner's Manual. TREI.421811.001-02RE]. Penza: AO «TREI» [Penza: JSC «TREI»]. 2015, 44 p.
10. *Puskatel beskontaktnyy reversivnyy PBR-T Ispolnenie PBR-TS. Rukovodstvo po ekspluatatsii. TREI.421811.001-03RE* [Reversing starter contactless PBR-T Design PBR-TS. Owner's Manual. TREI.421811.001-03RE], Penza: AO «TREI» [Penza: JSC «TREI»]. 2015, 34 p.
11. *Tekhnicheskie trebovaniya k podsysteme tekhnologicheskikh zashchit, vypolnennykh na mikroprotsessornoy tekhnike* [Specifications for the subsystem of technological protection performed on microprocessor technology]. М.: Rossiyskoe aktsionernoe obshchestvo energetiki i elektrifikatsii «YeES Rossii» [Moscow: Russian Joint Stock Company of Energy and Electrification «UES of Russia»]. 2000. Available at: <http://www.gosthelp.ru/text/rd1533413513700texni-chesk.html>
12. *GOST R MEK 61508-2007. Funktsionalnaya bezopasnost sistem elektricheskikh, elektronnykh, programmiruemykh elektronnykh, svyazannykh s bezopasnostyu* [GOST RIEC 61508-2007. Functional safety of electrical systems, electronic, programmable electronic safety-related]. 2014, Part 1-5.
13. *Obshchie tekhnicheskie trebovaniya k programmno-tehnicheskim kompleksam dlya ASUTP teplovykh elektrostantsiy RD 153-34.1-35.127-2002* [General technical requirements for software and hardware complexes for automated process control system of thermal power RD 153-34.1-35.127-2002]. М.: Rossiyskoe aktsionernoe obshchestvo energetiki i elektrofikatsii "YeES Rossii" [Moscow: Russian Joint Stock Company of Energy and Electrification "UES of Russia"]. 2002.
14. Fedorov Yu.N. *Poryadok sozdaniya. Modernizatsii i soprovozhdeniya ASUTP* [The order of creation. Modernization and maintenance of the control system]. М.: Infra-Inzheneriya [Moscow: Publishing House «Infra-Engineering»]. 2013. 576 p.
15. *BiSTART-R - reversivnye ustroystva pлавного пуска, dinamicheskogo tormozheniya i zashchity asinkhronnykh dvigateley* (press-reliz) [BiSTART-R - Reversing soft starter, dynamic braking and protection of induction motors (press-release)]. Available at: [http://www.bitek-e.ru/bistart\\_press-release.html](http://www.bitek-e.ru/bistart_press-release.html)



**Информация об авторах**

**Гофман Павел Михайлович**, кандидат технических наук  
E-mail: app\_sibstu@mail.ru  
Сибирский государственный технологический университет  
660049, Российская Федерация, г. Красноярск, проспект Мира, 82

**Колесник Валерий Васильевич**, заместитель начальника цеха  
Тепловой автоматики и измерений по эксплуатации  
E-mail: balans78@inbox.ru  
Филиал Публичного Акционерного Общества «Вторая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии» Красноярская ГРЭС-2  
663690, Российская Федерация, Красноярский край, г. Зеленогорск, ул. Первая Промышленная, д. 2

**Ковалев Игорь Владимирович**, доктор технических наук, профессор

**Першакова Кристина Константиновна**, младший научный сотрудник Научно-исследовательского управления  
E-mail: kleniks@yandex.ru  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева»  
660014, Российская Федерация, Красноярский край, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31

**Information about the authors**

**Gofman Pavel Mikhailovich**, Candidate of Technical Sciences  
E-mail: app\_sibstu@mail.ru Siberian State Technological University 660049, Russian Federation, Krasnoyarsk, Pr. Mira, 82

**Kolesnik Valery Vasilevich**, Deputy chief of shop of Thermal Automation and Measuring Manual E-mail: balans78@inbox.ru  
Branch of Public Joint-stock Company «The Second Generating Company of the Wholesale Electricity Market» Krasnoyarsk GRES-2  
663690, Russian Federation, Krasnoyarsk region, Zelenogorsk, Str. First Industrial, 2

**Kovalev Igor Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Pershakova Kristina Konstantinovna**, Junior Research fellow of the Research Management E-mail: kleniks@yandex.ru  
Federal State Educational Institution of Higher Education «Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev»  
660014, Russian Federation, Krasnoyarsk region, Krasnoyarsk, avenue named after the newspaper «Krasnoyarsk worker», 31