

УДК 614.841.332

**О.Я. СОЛЁНАЯ**  
Государственное высшее учебное заведение  
«Донецкий национальный технический университет»  
[oksana.solenaya@i.ua](mailto:oksana.solenaya@i.ua)

## МОДЕРНИЗИРОВАННОЕ ИСКРБЕЗОПАСНОЕ КОММУТАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО С БЛОКАМИ РУЧНОГО, ДИСТАНЦИОННОГО И СЕНСОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

*В статье обоснована опасность возникновения источников зажигания пожаровзрывоопасных сред в современных защитно-коммутационных аппаратах для низковольтных электрических сетей при их эксплуатации, а также выявлены недостатки разработок в области искробезопасных коммутационных устройств. Предложены схемные решения искробезопасного коммутационного устройства с блоками ручного, дистанционного и сенсорного управления, проведены испытания изготовленного опытного образца.*

**Ключевые слова:** герметичный магнитоуправляемый контакт, искробезопасный защитно-коммутационный аппарат, источник зажигания, низковольтная электрическая сеть, оптосимистор, пожаровзрывобезопасность, сенсорное управление.

**Постановка проблемы.** Развитие общества приводит к увеличению использования энергоресурсов. К наиболее востребованным и вместе с тем доступным по цене ресурсам можно отнести электроэнергию и бытовой газ. Но их использование является и наиболее опасным, учитывая взрыво- и пожароопасность, кроме того, невозможно полностью исключить при рассмотрении данного вопроса человеческий фактор. Обе эти системы снабжения энергоресурсами эксплуатируются совместно на протяжении многих лет и имеют много наработок в области систем защиты от взрывов бытового газа [1] и пожаров, вызванных воспламенением изоляции низковольтной электрической сети (НЭС), перегрузками, короткими замыканиями, утечками тока на землю и др. [2]. Однако, на сегодняшний день практически не разрабатываются конструктивные модули безопасной взаимосвязи или взаимоэксплуатации этих двух систем, что приводит к постоянному наличию на объектах, имеющих электрическую и газовую системы энергоснабжения, электрических источников зажигания (ИЗ) бытового газа в виде искробезопасных защитно-коммутационных аппаратов (автоматические выключатели, бытовые выключатели нагрузки и др.) НЭС.

**Анализ предыдущих исследований и публикаций.** В работах [3, 4] рассмотрен принцип построения искробезопасных коммутационных устройств для НЭС объектов, имеющих электрическую и газовую системы энергоснабжения. Согласно описания, устройства содержат основание, в которое вмонтирован герметичный магнитоуправляемый контакт (геркон). В пазах основания закреплен подвижной элемент, выполненный с возможностью перемещения относительно своей центральной оси, которая проходит через пазы. В одну из частей подвижного элемента, расположенную со стороны геркона, вмонтирован постоянный магнит. Кроме того, устройства дополнительно снабжены обмоткой дистанционного управления, которая размещена вокруг геркона. Рассмотренные устройства позволяют: осуществлять искробезопасную (бездуговую или безыскровую) защиту и коммутацию в НЭС; производить коммутации в НЭС как в ручном, так и дистанционном режимах; при применении пусковых органов (трансформаторы тока, напряжения и др.) построить практически любые регламентированные ПУЭ защиты НЭС; безопасно взаимосвязывать или взаимоэксплуатировать электрическую и газовую системы энергоснабжения.

Однако и у них есть ряд недостатков. Почти все современные бытовые выключатели нагрузки могут осуществлять коммутацию нагрузок мощностью до 4 кВт, а при использовании даже наиболее современных герконов (МКА-50201 и МКА-50202) она может достигать лишь 0,3 кВт. Герконы не имеют камер для гашения электрических дуг, искр и др., т.к. чаще всего используются как промежуточные элементы коммутации в искробезопасных цепях. Также их массо-габаритные и эксплуатационные характеристики при такой мощности не оправданы для использования в НЭС. Для создания магнитодвижущей силы (МДС) срабатывания геркона МКА-50202, равной 100 А, необходимо, чтобы обмотка дистанционного управления имела 5000 витков, но такой размер приведет к неоправданному увеличению размера среднестатистического бытового выключателя нагрузки. Обмотка дистанционного управления является активно-индуктивной цепью и потому должна соответствовать уровню искробезопасности согласно [4]. Хотя проведенный оценочный анализ и показал, что обмотка дистанционного управления данных устройств является искробезопасной и не может вызвать при обрыве или перегорании воспламенение бытового газа и, как следствие, пожаровзрывоопасную ситуацию на объекте, имеющем электрическую и газовую системы энергоснабжения (поскольку ее энергия меньше предельного значения, которое равняется 0,28 мДж), требуется устранение и доработка вышеуказанных недостатков для адекватной эксплуатации этих устройств в НЭС.

**Цель работы.** Повышение пожаровзрывобезопасности объектов, имеющих электрическую и газовую системы энергоснабжения, путем разработки, создания и внедрения более совершенных искробезопасных коммутационных устройств.

**Изложение основного материала.** Принципиальная схема модернизированного искробезопасного коммутационного устройства с блоками ручного и дистанционного управления для НЭС приведена на рис. 1 и работает следующим образом.

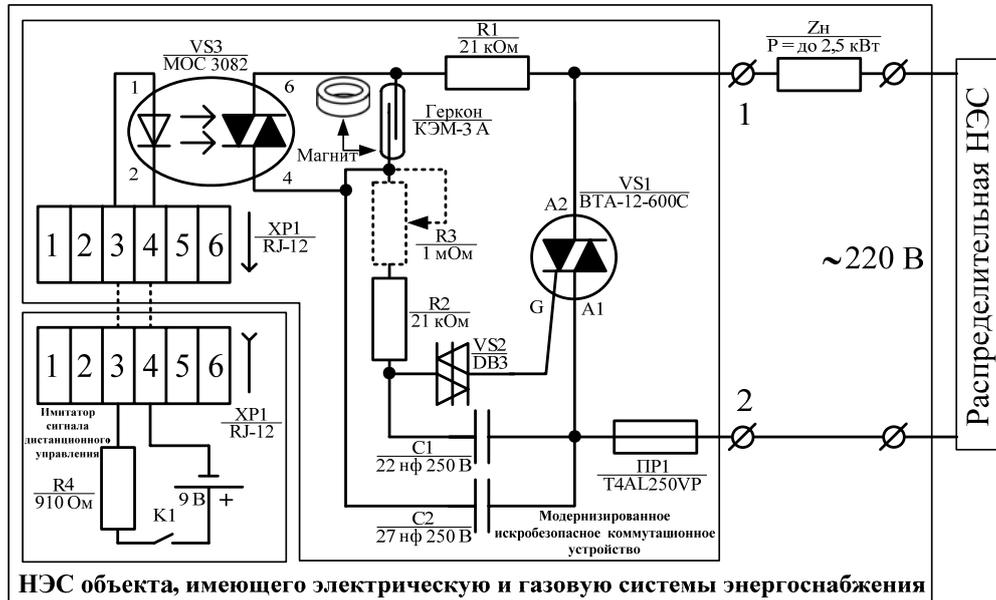


Рисунок 1 – Принципиальная схема модернизированного искробезопасного коммутационного устройства с блоками ручного и дистанционного управления для НЭС

После проведения монтажных работ – подключение устройства (рис. 1) через выходы 1, 2 в разрез фазного или нулевого проводника и подсоединение через разъем XP1 к сети дистанционного управления, устройство можно эксплуатировать в трех режимах: ручном, дистанционном и смешанном.

**Ручной режим.** При разомкнутых контактах геркона (геркон расположен вне кольца магнита) симистор VS1 закрыт и ток по нагрузке  $Z_n$  не протекает. При замкнутых контактах геркона (геркон расположен в кольце магнита) симистор VS1 открывается и по нагрузке  $Z_n$  начинает протекать ток. Так как симистор VS1 имеет импульсное управление, были сформированы цепочки его управления, состоящие из резистивно-емкостных элементов R1, R2, R3, C1, C2 и динистора VS2. Таким образом, как только напряжение на динисторе при заряде конденсаторов C1, C2 через резисторы R1, R2, R3 достигает величины пробоя его р-п перехода, он открывается и открывает симистор VS1. Напряжение открытия динистора VS2 желательно выбирать минимальным, чтобы не происходило искажения синусоиды тока нагрузки, которое может внести симистор VS1. Предохранитель ПП1 защищает симистор VS1 от КЗ, которое может произойти в нагрузке  $Z_n$  или НЭС.

**Дистанционный режим.** При отсутствии на выводах 1, 2 оптосимистора VS3 сигнала дистанционного управления (контакты тумблера K1 разомкнуты) он закрыт, следовательно, закрыт и симистор VS1, таким образом ток по нагрузке  $Z_n$  не протекает. При подведении к выводам 1, 2 оптосимистора VS3 сигнала дистанционного управления (контакты тумблера K1 замкнуты), он открывается и открывает симистор VS1, таким образом по нагрузке  $Z_n$  начинает протекать ток. Оптосимистор VS3 подключен параллельно геркону, что позволяет использовать одну цепь импульсного управления симистором VS1 (R1, R2, R3, C1, C2, VS2).

**Смешанный режим** подразумевает под собой поочередное или одновременное управление устройством (рис.1) при помощи геркона и оптосимистора VS3.

В результате исследований был изготовлен лабораторный образец устройства (рис. 1), за основу взят корпус выпускаемого серийно в 90-е годы заводом «Электропульт» г. Санкт-Петербург выключателя нагрузки С-1-05-6/250, но может быть взят любой другой корпус или изготовлен собственный (рис. 2).

Себестоимость одного лабораторного образца (рис. 2) составляет менее 100 грн. – при нынешнем курсе валют, стоимости микросэлектронных компонентов (резисторы, конденсаторы, симисторы, оптосимисторы, динисторы, герконы, предохранители и др.) и корпуса устройства. Таким образом, на сегодняшний день цена одного изготовленного лабораторного образца уже конкурентоспособна с ценами на ныне выпускаемые бытовые выключатели нагрузки, а при производстве устройства большим тиражом себестоимость может быть существенно снижена. Поскольку его цена соответствует требуемым эксплуатационным характеристикам, данное изделие является приемлемым для использования в качестве модуля взаимосвязи, позволяющего осуществлять взаимный контроль, влияние и связь НЭС и узлов газоснабжения объектов, имеющих электрическое и газовое энергоснабжение.

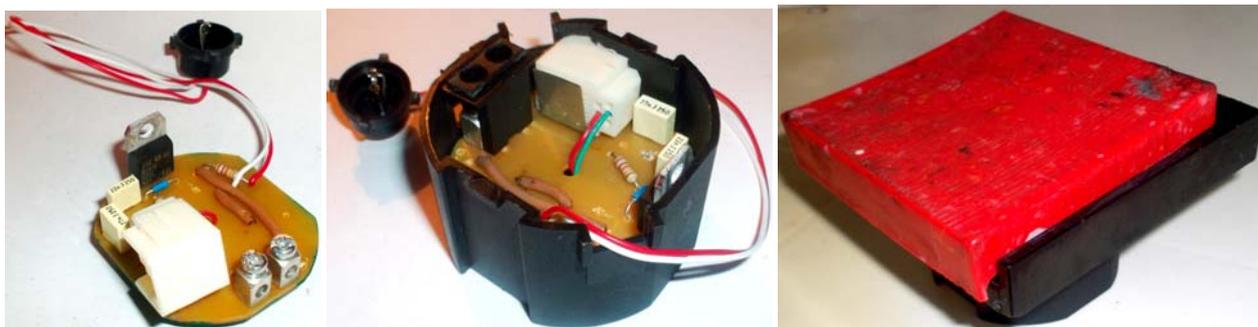


Рисунок 2 – Лабораторний образец модернізованого іскробезпечного комутаційного пристрою з блоками ручного і дистанційного управління для НЭС

При всех достоинствах устройства (рис. 2), у него есть один недостаток – наличие механической части (подвижный элемент (крышка), к которой крепится магнит кольцо), которая необходима для управления герконом. Таким образом, при ручном управлении срок службы всего устройства ограничивается сроком службы геркона КЭМ-3А. В наихудшем варианте из-за разброса характеристик герконов срок службы устройства может составить около 1 года при условии, что устройство включается/выключается 1 раз в день [5]. Также со временем механическая часть может изнашиваться и начинать заедать при постоянной эксплуатации устройства.

Была поставлена задача разработать блок сенсорного управления для устройства (рис. 2), который позволит повысить срок службы устройства в целом и исключить механическую часть.

Анализ современных разработок в этой области показал возможность применения для решения данной задачи сенсорного датчика прикосновения QT102 компании Quantum Research Group [6]. Данный датчик относится к технологиям «умный дом» и построен на эффекте переноса заряда (потенциала), названного разработчиками QTouch. Данная технология позволяет определять приближение или прикосновение любого предмета к электроду датчика даже через толстый слой стекла (до 50 мм), пластика (до 20 мм), камня, керамики и большинства сортов дерева. Также допускается металлическое покрытие панели с низкой плотностью частиц. В совокупности с автоматической самокалибровкой, устранением дрейфа, фильтрацией шумов и хорошей устойчивостью к влажности, технология QTouch даёт свободу разработчикам конечных изделий (устройств) в выборе материалов и конструкции, устраняет проблемы невысокой надёжности и сложностей производства, характерные для бытовых выключателей нагрузки. Допустимый диапазон размеров и форм контактных площадок (электрод датчика) достаточно широк (от 6x6 мм) и определяется в основном толщиной панели, через которую детектируется прикосновение. Контактные площадки могут быть сплошными или с просечками. К материалу контактных площадок не предъявляется особых требований, возможно применение меди, серебра, углерода, оксида индия и олова. К QT102 подключается всего один электрод, но при этом датчик снабжен триггером и каждое новое прикосновение переводит цифровой выход микросхемы в одно из двух устойчивых логических состояний. Причём активный уровень выхода микросхемы задаётся способом подключения на его выход резистора – к общей шине либо к шине питания. Датчик также можно аппаратно запрограммировать на автоматический перевод его выхода в отключённое состояние через заданный промежуток времени.

Принципиальная схема блока сенсорного управления для устройства (рис. 2) приведена на рис. 3, она работает следующим образом.

После подключения блока сенсорного управления (рис. 3) в схему (рис. 1), из нее необходимо исключить геркон КЭМ-3А, а также изменить дизайн путем замены механической части (рис. 2) – подвижного элемента (крышки) с магнитом кольцом на неподвижный элемент (крышку) с сенсорным электродом размером 50x50 мм.

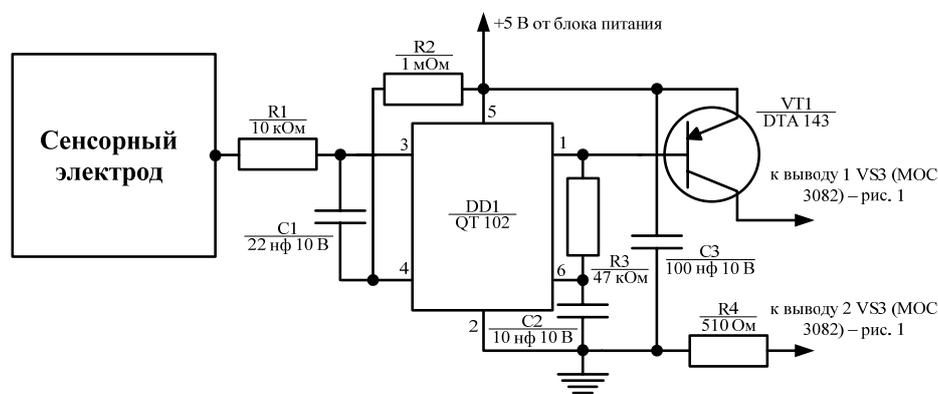


Рисунок 3 – Принципиальная схема блока сенсорного управления для модернізованого іскробезпечного комутаційного пристрою з блоками ручного і дистанційного управління для НЭС

Как только пользователь коснется пальцем сенсорного электрода, т.е. создаст своим телом емкость утечки относительно земли (потенциал) (рис. 4), на выводе 3 DD1 появится сигнал наводки, который после обработки в DD1 сформирует на ее выходе 1 логическую единицу, защелкнутую внутренним триггером. Это приведет к срабатыванию электронного усиливающего ключа VT1, т.е. к появлению сигнала на выводах 1, 2 оптосимистора VS3 (рис. 1), что приведет к включению устройства (рис. 2). Аналогичным образом происходит процесс выключения устройства. Таким образом, схема (рис. 3) работает в периодичном режиме: первое касание пользователем сенсорного электрода – включение устройства, второе касание сенсорного электрода – выключение устройства.

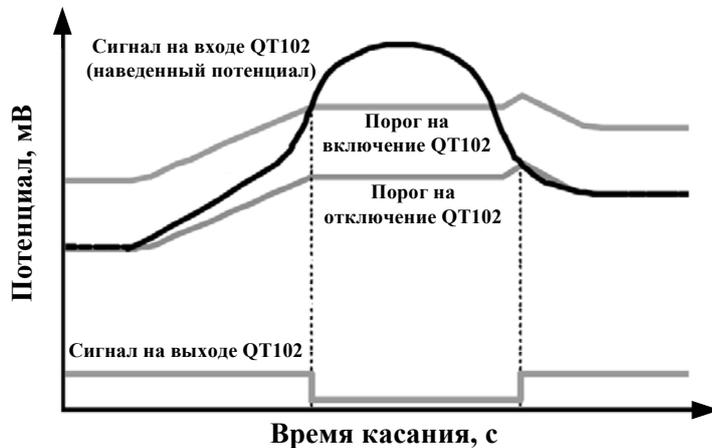


Рисунок 4 – Сигнал наведенного потенціала (при касанні пользователем (человеком) сенсорного электрода) на входе QT102 и сигнал логической единицы на его выходе

**Выводы.** Предложенные в статье подходы к разработке и созданию искробезопасных защитно-коммутационных аппаратов для низковольтных электрических сетей объектов, связанных с жизнедеятельностью человека, позволят повысить уровень их пожаровзрывобезопасности при одновременной эксплуатации систем электро- и газоснабжения до нормированных значений ГОСТ 12.1.004-91 ( $1 \cdot 10^{-6}$ ) и ГОСТ 12.1.044-89 ( $1 \cdot 10^{-7}$ ). Применение симисторов и оптосимисторов в качестве силовых электронных ключей позволяет обеспечить бездуговую коммутацию при мощностях нагрузки до 4 кВт, что вполне удовлетворяет требованиям не только в сегменте безопасности, но и потребительскому спросу в области непрерывного роста

коммутируемых мощностей нагрузок. Внедрение систем сенсорного управления искробезопасными защитно-коммутационными аппаратами вместо традиционного механического позволит повысить их износостойкость и снизить интенсивность отказов, что положительно скажется на общей эксплуатационной надежности низковольтных электрических сетей. В рамках исследования был создан лабораторный образец предложенного устройства, себестоимость которого составила менее 100 грн., т.о. описанная разработка является конкурентоспособной на рынке подобных коммутационных устройств. Испытания лабораторного образца, проведенные в режимах ручного, дистанционного и смешанного управления, показали полную адекватность заявленных технических характеристик устройства полученным во время экспериментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагорный М.А. Усовершенствование устройств подключения газовых приборов в квартирах и нежилых помещениях / М.А. Нагорный, А.П. Ковалёв, С.В. Солёный // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «АИР», 2012. – С. 184-188.
2. Сольона О.Я. Пристрій виявлення дефектних або постарілих електричних контактних з'єднань / О.Я. Сольона, О.П. Ковальов // Матеріали VI науково-практичної конференції [Донбас-2020: Перспективи розвитку очима молодих вчених], (Донецьк, 24-26 квітня 2012 р.). – Донецьк: ДонНТУ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, 2012. – С. 332-336.
3. Комутаційний пристрій: патент на Корисну модель № 74795 Україна, МПК(2012.01) H01N 9/00, МПК(2006.01) H01N 9/16. / О.Я. Сольона, О.П. Ковальов, Ю.В. Кудінов, І.В. Белоусенко; власник ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – № u201205219; заявл. 27.04.12; опубл. 12.11.12, Бюл. № 21.
4. Сольона О.Я. Вибухо- та пожежобезпечний комутаційний пристрій із дистанційним та примусовим керуванням / О.Я. Сольона, М.С. Єршов, Г.В. Демченко, О.С. Улітко // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів: Збірник наукових праць I Всеукраїнської науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів (Донецьк, 18-19 жовтня 2012 р.). - Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2012. – С. 20-21.
5. Электрооборудование взрывозащищенное. Искробезопасная электрическая цепь: ГОСТ Р 51330.10-99 (МЭК 60079-11-99). – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 120 с.
6. Карабанов С.М. Магнитоуправляемые герметизированные контакты (герконы) и изделия на их основе / С.М. Карабанов, Р.М. Майзельс, В.Н. Шоффа. – Долгопрудный: Издательский Дом: Интеллект, 2011. – 406 с..
7. Современные электронные компоненты для разработки и производства. Официальный сайт компании Космодром [Электронный ресурс]. - Режим доступа к ссылке: <http://www.kosmodrom.com.ua/data/qtouch/qt102.pdf>.

## REFERENCES

1. Nagornyj M.A., Kovaljov A.P., Soljonyj S.V. Development of devices of hooking up of gas instruments in apartments and uninhabited premises. *Vzryvozashhishhennoe elektrooborudovanie*. 2012; 184-188.
2. Solyonaja O.Ja., Kovalyov A.P. The device of acquisition of the defective or grown old electric contact joints. *Nauchno-prakticheskaja konferencija Donbass-2020: Perspektivy razvitiya glazami molodyh uchenyh (Scientifically-practical conference Donbass-2020: Prospects of evolution eyes of young scientists)*. Donetsk: DVNZ «DonNTU», 2012, p. 332-336.
3. Solyonaja O.Ja., Kovalyov A.P., Kudinov Ju.V., Belousenko I.V. The switch. *The patent for beneficial model of Ukraine № 74795*. The owner DVNZ «DonNTU». The Bulletin № 21 is published 12.11.12.
4. Solyonaja O.Ja., Ershov M.S., Demchenko G.V., Ulitko A.S. Detonating and a fire the safety switch with distant and compulsory management. *Vseukrainskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija prepodavatelej, aspirantov i studentov «Sovremennye problemy sistem elektrosnabzhenija promyshlennyh i bytovyh objektov» (The Ukrainian scientific and technical confrence of teachers, post-graduate students and students «Modern problems of systems of an electric-power supply of industrial and household installations»)*. Donetsk: DVNZ «DonNTU», 2012, p. 20-21.
5. GOST R 51330.10-99 (MEK 60079-11-99). Electric equipment hardened. A spark the safety electric circuit. 2001, 120p.
6. Karabanov S.M., Majzel's R.M., Shoffa V.N. *Magnitoupravljaemye germetizirovannye kontakty (gerkony) i izdelija na ih osnove* [Sealed contacts operated by a magnet (vacuum contact) and products on their basis], 2011. 406 p.
7. Official site of the company Space-launch complex. Modern electronic reductants for development and productions (<http://www.kosmodrom.com.ua>). QT102 – the «clever» sensory sensing transducer of a contact (<http://www.kosmodrom.com.ua/data/qtouch/qt102.pdf>).

Надійшла до редакції 14.03.2013

Рецензент: О.П. Ковальов

О. Я. СОЛЬОНА

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

**Модернізований іскробезпечний комутаційний пристрій із блоками ручного, дистанційного та сенсорного керування.** У статті обґрунтована небезпека виникнення джерел запалювання пожежовибухонебезпечних середовищ у сучасних захисно-комутаційних апаратах для низьковольтних електричних мереж при їхній експлуатації, а також виявлені недоліки розробок у галузі іскробезпечних комутаційних пристроїв. Запропоновані схемні рішення іскробезпечного комутаційного пристрою із блоками ручного, дистанційного та сенсорного керування, проведені випробування виготовленого дослідного зразка.  
*Ключові слова:* герметичний магнітокерований контакт, іскробезпечний захисно-комутаційний апарат, джерело запалювання, низьковольтна електрична мережа, оптичний триак, пожежовибухонебезпека, сенсорне керування.

О. SOLENAYA

State Institution of Higher Education “Donetsk National Technical University”

**Modernized Spark-Safe Switch with the Blocks of Manual, Remote and Touch Control.** The paper considers the problem of the sources of ignition in modern protective switching units for low-voltage electrical networks in the process of their operation. Besides we have found out some drawbacks in the field of spark-safe switching units design.

*Key words:* tight magnet operated contact, spark-safe protective-switching device, source of ignition, low-voltage electric network, optical triac, fire and explosion safety, touch control.