

## Способы уменьшения зоны выхлопа ионизированных газов в электрических аппаратах

АПОЛЛОНСКИЙ С.М., КУКЛЕВ Ю.В.

*Рассмотрены способы уменьшения зоны выхлопа ионизированных газов в электрических аппаратах, позволяющие минимизировать размеры аппаратов, увеличить их надёжность и эффективность. По результатам исследований с целью формирования выхлопной зоны аппаратов с минимальной зоной выхлопа ионизированных газов сделаны выводы: вырезы в дугогасительных пластинах способствуют интенсивному гашению дуги; тонкие сетки не выдерживают термических нагрузок, поэтому следует изготавливать их из толстой проволоки  $d=0,5-2$  мм, обладающей хорошей теплопроводностью (медь, латунь); отрицательный заряд на сетке пламегасителя уменьшает зону выброса ионизированных газов, вызывает дополнительное сопротивление истечению плазмы сквозь сетку. Это приводит к увеличению процесса деионизации плазмы под сеткой. При задании отрицательного потенциала на сетке в плазме возникают объёмные заряды, которые способствуют процессу деионизации. Исследования позволили создать конструкции пламегасителей, которые полностью устранили зону выхлопа.*

**Ключевые слова:** электрические аппараты, ионизированные газы, выхлопная система, дугогасительные устройства

При разрывании контактов электрических аппаратов (ЭА) возникает электрическая дуга, погасить которую путем ее растяжения не представляет трудностей. Однако главная и наиболее сложная задача заключается в том, чтобы ограничить пространство дуги и ее пламени и погасить дугу в малом объеме, что необходимо для создания компактных распределительных устройств. При этом цепь размыкают внутри дугогасительных камер.

Камеры должны быть сделаны так, чтобы горячие ионизированные газы, могущие вызвать пробой между соседними токоведущими частями, успевали охладиться и деионизоваться внутри камеры до выхода за ее пределы. Принципиально возможно сделать камеры настолько герметизированными, чтобы из них не успел выйти сколько-нибудь значительный объем горячих газов до их охлаждения, при этом внутри камеры давление должно быть большим.

Для охлаждения и деионизации ствола дуги и образуемых ею газов внутри камер создают развитую поверхность охлаждения. При этом дуга находится в узкой щели. Возникают два характерных случая: первый — дуга горит в узкой щели между поверхностями изоляционных материалов, причем направления тока и движения дуги параллельны стенкам щели; второй — дуга горит в узкой щели между металлическими поверхностями, причем направление тока перпендикулярно стенкам щели, а направление движения параллельно им. Движение дуги является строго обязательным условием ее га-

шения при больших значениях тока, так как в противном случае соприкасающиеся с дугой детали разогреются и выплавятся, а ослабление деионизации приведет к затяжному горению дуги.

Создание в камерах узких щелей, предназначенных для прохождения дуги, сильно ускоряет ее гашение и уменьшает выход горячих газов, если дуга в эти щели входит и движется до погасания. Если дуга в щель не войдет из-за большого аэродинамического сопротивления (или не будет двигаться), то это может быть причиной замедленного гашения или даже появления устойчивой дуги (из-за разогрева камеры), а также выброса газов в направлении, противоположном предусмотренному. Особенно велика эта опасность при больших значениях тока. Сужение щелей приводит, с одной стороны, к уменьшению выброса горячих газов, если дуга движется, с другой, — к увеличению выделения тепла внутри камеры и повышению опасности получения затяжной дуги. Это должно быть соразмерно. Особенно опасно делать камеры с малым выбросом газов при частых отключениях (примерно тысячу в час) и большой энергии, выделяемой дугой (постоянный ток).

В статье рассмотрены пути снижения выхлопа ионизированных газов в электрических аппаратах.

**Уменьшение зоны выброса ионизированных газов сетчатым пламегасителем с отрицательно заряженными сетками.** Это было подтверждено на автоматическом выключателе при токе 27 кА и напряжении 230 В [1]. Конструкция пламегасителя автома-

тического выключателя приведена на рис. 1. Дугогасительная камера имеет корпус с отверстиями для выхлопа ионизированных газов 2, контакты 8, дугогасительные рога 6 и 7, один из которых изолирован от токоведущих частей 7, и сетчатый пламегаситель 1. С целью уменьшения ионизированной зоны выхлопа пламегаситель был снабжен делителем напряжения на резисторах 5. Для того чтобы устранить опасную зону выхлопа при тех же значениях глубины полости 4, пламегасители были выполнены в виде отдельных изолированных друг от друга секций из одной или нескольких разделенных металлических сеток (рис. 1,а). Делитель напряжения был включен между дугогасительными рогами. Причем каждый конец резисторов делителя был подсоединен к каждой секции пламегасителя (рис. 1,б). Потенциал каждой секции отличался от потенциала соседних секций и был отрицательным по отношению к ионизированным газам, которые соприкасались с сетками данной секции.

Исследования показали целесообразность использования конструкции дугогасительного устройства с узкой щелью совместно с пламегасителем, состоящим из сеток, для многоамперных аппаратов низкого напряжения и для аппаратов высокого напряжения при токах до 700 А.

Большая зона выброса ионизированного газа фактически увеличивает габариты аппарата, кроме того, выброс плазмы происходит с большой скоростью и сопровождается сильным звуковым эффектом. Поэтому успешная борьба с выбросом должна одновременно привести к уменьшению звука. С

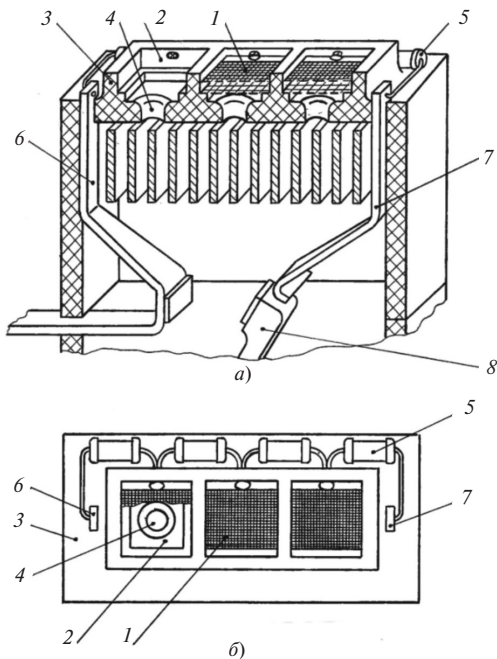


Рис. 1. Дугогасительная камера с пламегасителем в виде отдельных секций с металлическими сетками: а – вид сбоку; б – вид сверху [2]

этой целью в АКЗ использовалась пламегасительная решетка, состоящая из тонких латунных пластин с отверстиями (рис. 2 и 3) [3].

Для уменьшения кинетической энергии потока ионизированного газа отверстия в ряд стоящих пластинах были сдвинуты по отношению друг к другу. Кроме того, в вышестоящих пластинах отверстия имели меньшие размеры. Это позволило ликвидировать не только зону выброса ионизированного газа из камеры, но и звуковой эффект. Недостаток данного пламегасителя – технологическая сложность изготовления, поэтому он был заменен другим, более простым по изготовлению (рис. 3 и 4).

Пластина 3 была изготовлена из изоляционного материала из-за опасения, что дуга сможет образовать опорное пятно на пластине из металла при выходе из дугогасительной решетки. Пластины 1 и 2 были изготовлены из латуни. Форма пластин решетки, изображенная на рис. 4, ускоряет процесс

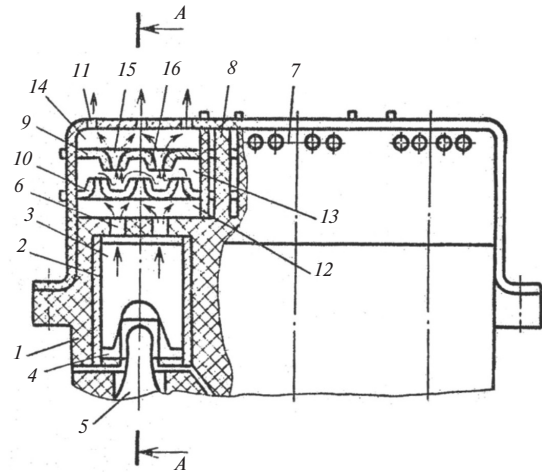


Рис. 2. Пламегасительная решетка, установленная в аппарате АКЗ

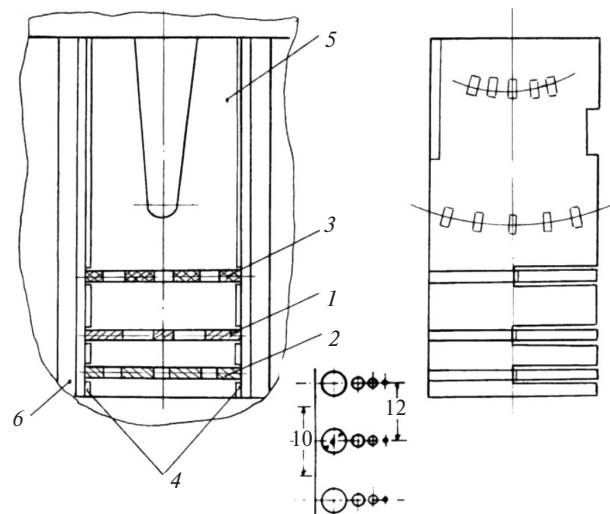


Рис. 3. Камера дугогашения и перфорированная пластина дугогасительной решетки: 1 – металлическая изоляционная пластина; 2 – металлическая пластина; 3 – изоляционная пластина; 4 – стенка; 5 – дугогасительная решетка; 6 – колодка

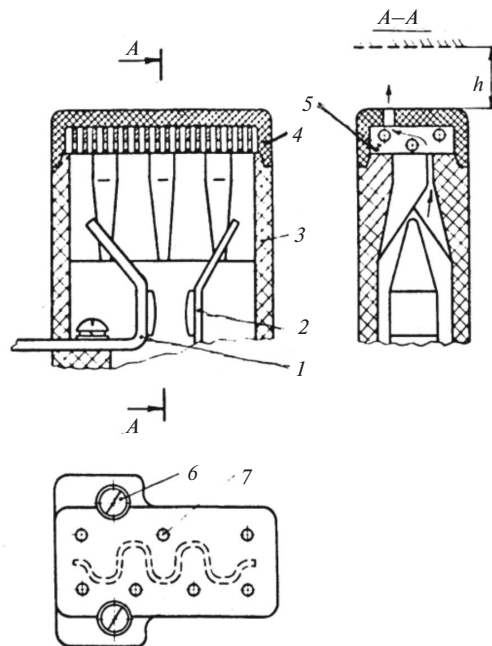
вхождения дуги в дугогасительное устройство камеры. Перфорированные пластины решетки оказались менее эффективными в процессе теплообмена с дугой, чем пластины с вырезом на торце.

**Модернизация дугогасительной камеры контактора.** Задача разработчиков дугогасительных камер — поиск технических решений по снижению расхода дугостойких прессматериалов, уменьшению себестоимости изготовления дугогасительных камер контакторов постоянного тока. Решение задачи — в применении новых дугостойких прессматериалов, а также уменьшении габаритов дугогасительного устройства за счет интенсификации процесса деионизации высоконагретых ионизированных газов с использованием пламегасителей.

Дугогасительные устройства контакторов должны не только быстро погасить дугу, но и восстановить электрическую прочность в объеме дугогасительной камеры, т.е. подготовить ее за короткий промежуток времени к повторению операции «включение—отключение». Решающие факторы восстановления прочности: большой температурный перепад между дугой и охлаждающими изоляционными стенками; способность изоляционных стенок к выделению газов под действием дуги. Первый фактор определяется шириной щели. По мере ее увеличения уменьшается скорость восстановления электрической прочности. Благоприятное влияние газовыделения на восстановление электрической прочности оказывает быстрое смешивание относительно холодного (выделяемого) и горячего (ионизированного) газов и таким образом охлаждение и деионизация последнего.

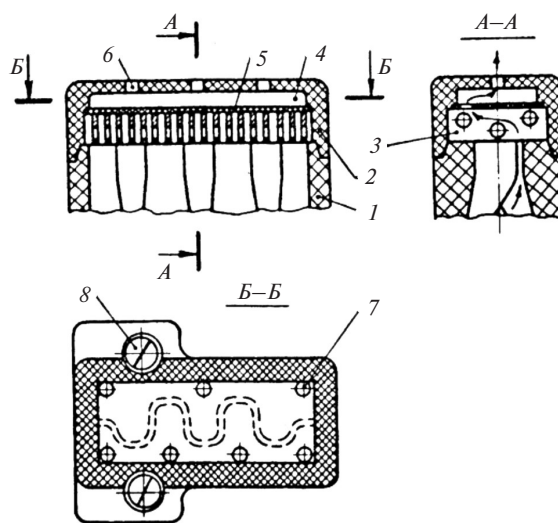
**Устранение опасной зоны выхлопа.** Уменьшение габаритов комплектных устройств требует полного устранения опасной зоны выхлопа аппаратов. С этой целью были проведены исследования, которые при выполнении указанного требования не снижали бы коммутационной способности и не приводили к существенным конструктивным изменениям дугогасительного устройства.

Исследования проводились на контакторах постоянного тока серии КМ2000 [4]. В дугогасительном устройстве этих контакторов (рис. 4) дуга на контактах 1 и 2 проникает в узкую щель камеры 3 с помощью магнитного поля системы магнитного дутья. Образующиеся в процессе гашения дуги ионизированные газы поступают в корпус пламегасителя 4, где охлаждаются, соприкасаясь с поверхностью пластин 5, и выбрасываются через выхлопные отверстия 7 в окружающее пространство. Существующая у этих контакторов ионизированная зона выхлопа достигает при отключении предельных токов границы  $h=20-50$  мм.



**Рис. 4.** Пламегаситель серийного исполнения: 1 — узкощелевая дугогасительная камера; 2 — корпус пламегасителя; 3 — пластина пламегасителя решетки; 4 — дополнительная замкнутая полость; 5 — перегородка (стеклотекстолит); 6 — выхлопные отверстия; 7 — входные отверстия; 8 — винт крепления пламегасителя

Был разработан и изготовлен ряд различных по конструкции макетов пламегасителей, предназначенных для серийных дугогасительных камер контакторов. По результатам предварительных опытов из этого ряда были отобраны для дальнейших исследований две конструкции, представленные на рис. 5 и 6. Обе содержат пламегасительную решетку, выполненную идентично серийной конструкции (рис. 4).



**Рис. 5.** Пламегаситель с дополнительной замкнутой полостью, имеющей несовпадающие входные и выхлопные отверстия [5]: 1 — узкощелевая дугогасительная камера; 2 — корпус пламегасителя; 3 — пластина пламегасителя решетки; 4 — дополнительная замкнутая полость; 5 — перегородка (стеклотекстолит); 6 — металлическая сетка; 7 — входные отверстия; 8 — винт крепления пламегасителя

Конструкция на рис. 5 отличается от серийной (рис. 4) тем, что имеет дополнительную замкнутую полость 4, образованную за счет увеличения глубины корпуса 2 пламегасителя введением дополнительной стеклотестолитовой перегородки 5, отделяющей полость 4 от пластин 3 пламегасительной решетки. Выхлопные отверстия 6 полости 4 не совпадают по своему расположению в плане с входными отверстиями 7, выполненными в перегородке 5 идентично выхлопным отверстиям серийного пламегасителя (рис. 4). В таком пламегасителе поток высоконагретых ионизированных газов (условно показан стрелочками на рис. 5) после начального охлаждения в узкой щели камеры 1 втекает в промежутки между пластинами 3 пламегасительной решетки.

Расположение отверстий 7 способствует вихревому движению потоков газа как вдоль поверхности пластин 3, так и в поперечном направлении — через отверстия в этих пластинах. Расположением отверстий 6 обеспечивается вихревое движение газов внутри полости 4. Резкое расширение газов при входе в полость 4, их интенсивное перемешивание при хорошем контакте с изоляционными стенками полости и последующее расширение при выходе в свободное пространство, — все это приводит к эффективному охлаждению газов.

Конструкция пламегасителя на рис. 6 отличается от описанной (рис. 5) только тем, что торцевая стенка корпуса 2 заменена двумя металлическими сетками 6, размещенными в тех же габаритах. Поводом для применения сеток послужила их известная способность ограничивать распространение пламени различного рода. Обе сетки для устранения нежелательного взаимодействия с проводящими газами выполнены из немагнитного материала. При этом из соображений термостойкости внутренняя сетка выполнена из стальной (сталь 12х13Н10Т) проволоки диаметром 0,3 мм с ячейкой 1,5×1,5 мм, а наружная для обеспечения необходимой теплоемкости — из латунной проволоки диаметром 0,1 мм с ячейкой 0,5×0,5 мм.

В процессе детальных исследований определялись оптимальные значения глубины полости 4 и соотношения между суммарными площадями входных и выхлопных отверстий этой полости. При изменении какого-либо из этих параметров делалось 50 отключений с интервалом 10 с предельного значения отключаемого тока контактора ( $4I_H$ ) при напряжении 320 В и постоянной времени испытательной цепи 15 мс. Через каждые пять отключений фиксировались значения тока и напряжения на контактах.

Для контакторов серии КМ2000 с номинальными значениями токов 25–300 А установлено, что

оптимальная глубина дополнительной полости их пламегасителей составляет соответственно 3–6 мм. При такой глубине и изображенном на рис. 4 расположении выхлопных и входных отверстий полости соотношения их суммарных площадей должны находиться в пределах 0,4–0,5, а площадь входных отверстий должна составлять около 5% площади сечения полости в плане. Увеличение глубины полости ведет к неоправданному возрастанию как габаритов пламегасителя, так и расхода прессмассы для изготовления его корпуса. При малой глубине полости затрудняется выхлоп газов, заметно снижается скорость их истечения, возрастают время гашения дуги и давление в камере. Уменьшение габарита аппарата происходит за счет уменьшения зоны выброса ионизированного газа.

У пламегасителей, выполненных в соответствии с рис. 6 и имеющих указанные выше параметры, полностью отсутствовала ионизированная зона выхлопа — даже при установке измерительных пластин вплотную к пламегасителю не происходило сгорания измерительных предохранителей; не наблюдалось и воспламенения ваты. Это означало отсутствие выброса пламени. Общий габарит дугогасительных камер с таким пламегасителем возрастает не более чем на 2–4 мм, так как на 1–2 мм по сравнению с серийными исполнениями может быть уменьшена толщина торцевой стенки корпуса 2.

Исследования показали также, что ширина узкой щели, сильно влияющая на границы опасной зоны выхлопа в серийных дугогасительных устройствах, не оказывает столь заметного влияния при наличии в пламегасителе дополнительной замкнутой полости с несовпадающими входными и выхлопными отверстиями. Так, увеличение ширины узкой щели в 1,5–1,8 раза еще не приводило в этом случае к появлению ионизированной зоны выхлопа. Такое положение свидетельствует о том, что основная охлаждающая и деионизирующая функция принадлежит теперь пламегасителю. Это подтверждается повышением на 25–30 °С температуры пластин и корпусов пламегасителей по сравнению с серийными исполнениями.

Возможность расширения узкой щели дугогасительных камер контакторов постоянного тока данной конструкции позволяет снизить индукцию магнитного поля, необходимую для вхождения дуги в эту щель, т.е. приведет к уменьшению числа витков серийной катушки магнитного дутья и экономии меди, идущей на изготовление таких катушек. Кроме того, увеличится прочность пуансона прессформы, оформляющего узкую щель при прессовании камеры, что при возможном теперь расшире-

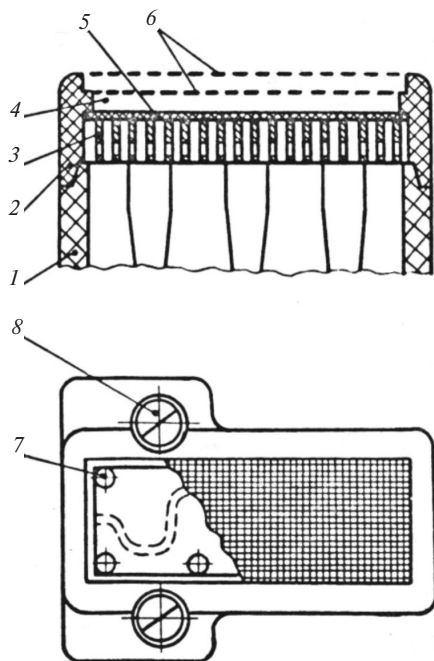


Рис. 6. Пламегаситель с дополнительной замкнутой полостью, имеющей металлические сетки [4]: 1 – узкощелевая дугогасительная камера; 2 – корпус пламегасителя; 3 – пластина пламегасителя решетки; 4 – дополнительная замкнутая полость; 5 – перегородка (стеклотекстолит); 6 – металлические сетки; 7 – входные отверстия; 8 – винт крепления пламегасителя

нии поля допусков на размер щели позволит значительно реже делать ремонт прессформ.

У пламегасителей с металлическими сетками (рис. 6), как показали исследования, при малых значениях глубины дополнительной полости 4 могут происходить дуговые замыкания на внутреннюю сетку и ее разрушения в местах образования опорных пятен дуги.

Как правило, образования опорных пятен наблюдались напротив достаточно далеко расположенных друг от друга входных отверстий 7. Только при удалении сеток 6 от перегородки 5 на расстояние 15 мм и более удалось избежать этих явлений. Однако такое изменение габаритов пламегасителей было неприемлемым.

Устранить опасную зону выхлопа при тех же значениях глубины полости 4, которые получены в пламегасителях на рис. 6, оказалось возможным только после поперечного разделения сеток на три изолированные друг от друга части (рис. 6). Каждая из этих частей располагалась под группой соседних входных отверстий 7.

Испытания проводились при следующих параметрах испытательной цепи: напряжение 320 В; установившийся ток 400 А ( $4I_H$ ); постоянная времени 0,01 с. В качестве нагрузки применялись воздушные реакторы типа РБ-6,6 и включенные последовательно с ними ленточные константановые сопротивления типа СН-270Л (рис. 7).

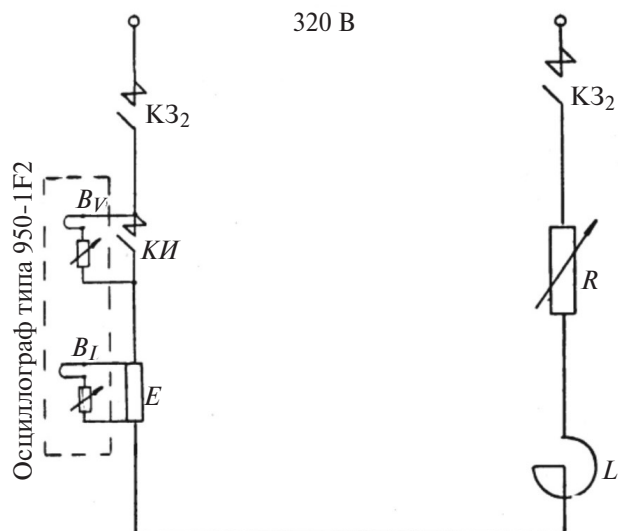


Рис. 7. Схема силовой и измерительных цепей

Для определения границы зоны выхлопа дугогасительных устройств использовалась измерительная пластина из листовой стали толщиной 3 мм с отверстиями 7 мм и расстоянием между центрами отверстий 10 мм. Пластина присоединялась к искусственной нейтральной точке через токоограничивающее (до 100 А) сопротивление и медную проволоку длиной 50 мм и диаметром 0,1 мм (ГОСТ 2933–83).

При каждом установленном положении пластины коммутационная операция «включение–отключение» повторялась с интервалом 10 с до тех пор, пока не происходило перекрытие дуги на пластину. Если после 100 операций перекрытие отсутствовало, то пластина перемещалась ближе к выхлопным отверстиям камеры. Положение измерительной пластины относительно дугогасительной камеры изменялось с шагом 5 мм. В ходе испытаний периодически регистрировались с помощью осциллографа типа 9SO-1F2 значения тока испытательной цепи и напряжения на контактах аппарата.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Электрические** и электронные аппараты, т. 1. Электромеханические аппараты: Учебник для студентов вузов/Под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова. М.: Изд. центр «Академия», 2010, 352 с.
2. **А.с. 836691 (СССР)**. Дугогасительная камера/О.Б. Брон, Ю.В. Куклев, Б.А. Лярский. – БИ, 1981, № 21.
3. **Капцов Н.А.** Электрические явления в газах и вакууме. М.: Изд-во «Медиа», 2012, 821 с.
4. **Беляев В.Л., Куклев Ю.В.** Увеличение эрозийной стойкости контакторов постоянного тока. Санкт-Петербург: МК «Электрические контакты», 2002, с. 102–106.
5. **А.с. 851517 (СССР)**. Дугасительное устройство/Б.А. Лярский, Н.Н. Претро, В.В. Пастушков, Г.С. Смирнов. – БИ, 1980, № 42.

*А в т о р ы : Аполлонский Станислав Михайлович окончил электромеханический факультет Высшего военно-морского инженерного ордена Ленина училища им. Ф.Э. Дзержинского в 1959 г. В 1988 г. защитил докторскую диссертацию «Комплексная задача расчета и снижения электромагнитных полей для обеспечения безопасности элементов электроэнергетики» в Ленинградском кораблестроительном институте. Научный консультант ООО «Центр электротехники».*

*Куклев Юрий Васильевич окончил механико-математический факультет Ленинградского государственного университета в 1963 г. В 1982 г. защитил кандидатскую диссертацию «Газодинамические процессы в дугогасительных устройствах низковольтных электрических аппаратов» в Ленинградском политехническом институте. Доцент кафедры электрических и электронных аппаратов Северо-Западного технического открытого университета.*

*Elektrichestvo, 2018, No. 11, pp. 32–37*

*DOI:10.24160/0013-5380-2018-11-32-37*

## Ways for Minimizing the Ionized Gas Exhaust Zone in Electrical Apparatuses

**APOLLONSKII Stanislav M.** (JSC «Electromechanotronics Centre», St. Petersburg, Russia) –Scientific consultant, Dr. Sci. (Eng.)

**KUKLEV Yury V.** (Northwestern Technical Open University (St. Petersburg, Russia) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

*The article discusses possible ways for decreasing the ionized gas exhaust zone in electrical apparatuses with a view to minimize the dimensions of the apparatuses and make them more reliable and efficient. Investigating the apparatus ionized gas exhaust zone occupying the minimal space allowed the following conclusions to be drawn. Cutouts in the arc quenching plates facilitate intense quenching of arc; thin meshes are not able to withstand the thermal loads; therefore, they should be made of thick wire with  $d = 0.5–2$  mm with good thermal conductivity (copper or brass); negative charge on the flame quenching mesh results in a smaller ionized gas exhaust zone and offers additional resistance to outflow of plasma through the mesh. This results in more intense deionization of plasma under the mesh. With a negative potential applied to the mesh, volume charges appear in the plasma, which facilitate the deionization process. The investigation results made it possible to develop the designs of flame quenching devices completely eliminating the exhaust zone.*

**Key words:** *electrical apparatus, exhaust system, arc quenching devices.*

### REFERENCES

1. **Elektricheskiye i elektronnyye apparaty. T. 1. Elektromekhanicheskiye apparaty: Uchebnik dlya vuzov** (Electrical and electronic devices. Vol. 1. Electromechanical devices: Textbook for universities)/Edit. by A.G. Godzhello, Yu.K. Rozanov. Moscow, Publ. Centr «Academiya», 2010, 352 p.
2. **A.s. 836691 (USSR). Dugogasitel'naya kamera** (C.a. 836691 (USSR). Arc chute)/O.B. Bron, Yu.V. Kuklev, B.A. Lyarskii. Bulletin of inventions, 1981, No. 21.
3. **Kaptsov N.A. Elektricheskiye yavleniya v gazakh i vakuume** (Electrical Phenomena in Gases and Vacuum). Moscow, Publ. «Media», 2012, 821 p.

4. **Belyayev V.L., Kuklev Yu.V. Uvelicheniye eroziionoi stoikosti kontaktorov postoyannogo toka** (Increased erosion resistance of DC contactors). St. Petersburg, MK «Elektricheskiye kontakty», 2002, pp. 102–106.

5. **A.s. 851517 (USSR). Dugogasitel'noye ustroystvo** (C.a. 851517 (USSR). Arc quenching device)/B.A. Lyarskii, N.N. Pretro, V.V. Pastushkov, G.S. Smirnov. Bulletin of inventions, 1980, No. 42.

[27.12.2017]