УДК 621.3.064:54

# Дугогасительные процессы в среде оксигидрогена

**Галина ЧЕРНЕВА**

***Галина Петкова Чернева*** *– доцент, доктор на кафедре «Электротехника и физика» Высшего транспортного училища им. Тодора Каблешкова, София, Болгария.*

**Galina Petkova CHERNEVA**

***В статье представлены результаты исследования дугогасительных процессов в оксиводородной среде. Изучались переходные состояния в смеси с разным объемным соотношением водорода и кислорода, полученные данные сравнивались с результатами аналогичных испытаний в вакуумной камере. Для выполнения исследовательской программы был применен лабораторный стенд, спроектированный и изготовленный коллективом преподавателей и студентов Высшего транспортного училища в Софии.***

*Ключевые слова: электрический транспорт, выпрямители с высоким быстродействием, дугогасительные процессы, газовая среда, вакуум.*

Одна из основных проблем в области энергетики и электрического транспорта – это разработка выпрямителей с большим быстродействием. Среди параметров, оказывающих влияние на быстродействие, – среда дугогашения, в которой находятся полюсы выпрямителя. В современных конструкциях используется отдельная герметическая дугогасительная камера, причем в последние годы разрабатываются преимущественно два типа выпрямителей – элегазовые и вакуумные [1,3,5].

В элегазовых [5,6] дугогасительные устройства работают в среде «электротехнического газа», шестифтористой серы (элегаз). Их недостатком являются продукты разложения элегаза – инертные газы, которые не встречаются в атмосфере. Хотя они сами по себе не токсичны, легко гидролизуются при взаимодействии с влагой, образуя фтористо-водородную кислоту и двуокись серы. Поэтому для их поглощения в элегазовые выключатели ставят фильтры, способные нейтрализовать как газообразные продукты разложения, так и влагу.

Вакуумные выключатели используют другой вид среды в камере дугогашения –

вакуум [2,4,5]. Преимуществами их являются: полная взрыво- и пожаробезопасность, возможность осуществления любых режимов отключения, высокий коммутационный ресурс, высокая механическая и электродинамическая устойчивость при коммутации в нормальных и аварийных режимах, отсутствие негативного воздействия на окружающую среду. К недостаткам же следует отнести: высокую себестомость, потерю функции выключателя вследствие аварии вакуумной дугогасительной камеры, сильную зависимость от качества контактной связи, неприменимость при высоких напряжениях, возникновение перенапряжения [5].

Так появился вопрос – возможно ли создание выключателя постоянного и переменного тока с большим быстродействием дугогашения по сравнению с существующими техническими решениями и без негативного воздействия на окружающую среду. На этот вопрос попробовали ответить преподаватели и студенты Высшего транспортного училища имени Тодора Каблешкова в Софии. Созданный ими коллектив разработал лабораторный стенд для исследования переходных процессов при дугогашении постоянного и переменного напряжения. На стенде исследовано гашение дуги в оксигидрогеннной смеси, при этом получены интересные результаты, с которыми знакомит предлагаемая статья.

## ОПИСАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

В качестве основы стенда был использован трехполюсный вакуумный выключатель (10 кВ/300 А). Путем замены одной из дугогасительных камер на герметическую из электроизоляционного материала (рис. 1), который выдерживает абсолютное давление от 20 Ра до 1000 кРа, получена модифицированная фаза выключателя, рис. 2.

Каждая камера снабжена двумя полюсными контактами из материала с высокой электрической проводимостью. Один из них стационарен, прикреплен к корпусу соответствующей камеры и связан электрически с верхним токовым выводом, а другой контакт – подвижный, прикреплен к стержню из изоляционного материала для передачи движения контакта и связан электрически с нижним токовым выводом камеры.

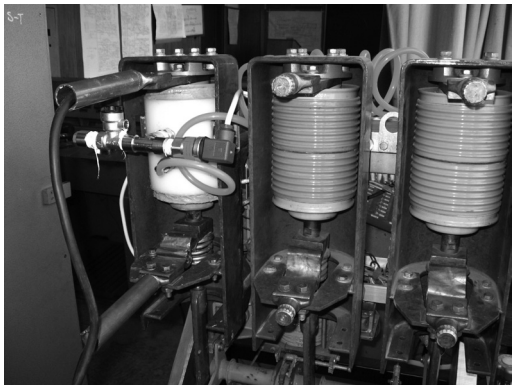
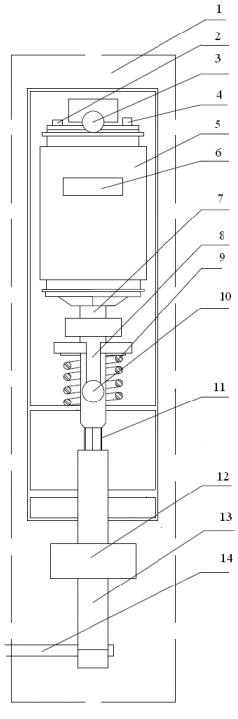


***Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда.***

***Pic. 1. General view of a laboratory bench.***




*1 – модифицированная фаза (полюс) /modified phase (pole)*
*2 – датчик давления/ pressure sensor*
*3 – верхний токовый вывод/upper current terminal*
*4 – датчик температуры/ temperature sensor*
*5 – дугогасительная камера/arc-interruption chamber*
*6 – стекло для наблюдения процесса/ surveying glass*
*7 – изоляционный стержень/isolating rod*
*8 – поршень/piston*
*9 – пружина/spring*
*10 – нижний токовый вывод/lower current terminal*
*11– винт для регулирования/ adjustment screw*
*12– динамометр/ dynamometer*
*13– изоляционный стержень/isolating rod*
*14 – вал/shaft*

***Рис. 2. Модифицированная фаза выключателя.***

***Pic.2. Modified phase of a circuit breaker.***

В модифицированную камеру выключателя посредством присоединительных отверстий и газопроводов вмонтированы магнитные клапаны.

Установка имеет еще генератор газа (электролитическая ячейка) для генерирования и подачи оксигидрогеннной смеси. У него одинаковые секции, каждая из которых состоит из корпуса, электродов,

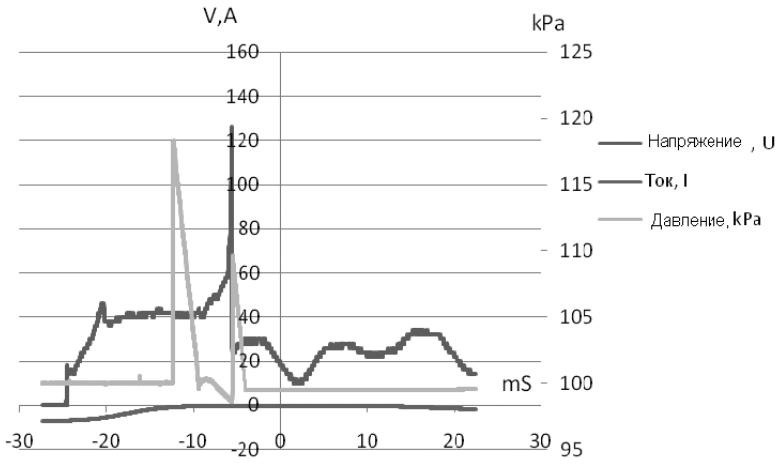



***Рис. 3. Переходный процесс в оксигидрогеннной смеси с 33% водорода и 67% кислорода.***

***Pic. 3. Transient process in the oxyhydrogen mixture with 33% hydrogen and 67% oxygen.***

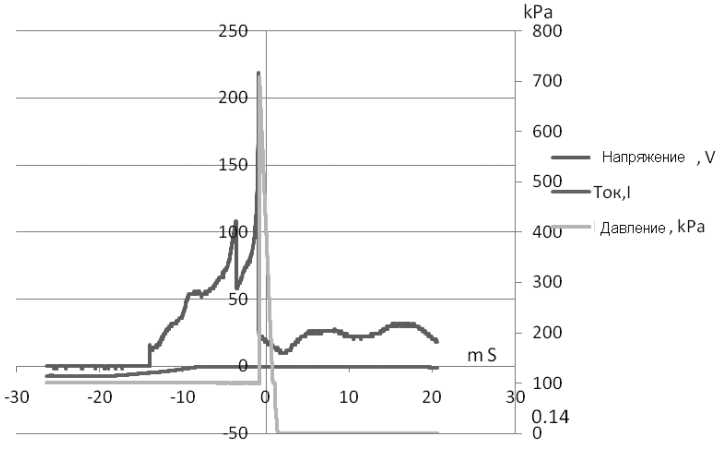



***Рис. 4. Переходный процесс в оксигидрогеннной смеси с 50% водорода и 50% кислорода.***

***Pic. 4. Transient process in the oxyhydrogen mixture with 50% hydrogen and 50% oxygen.***

электролита, входа для флюида, выхода для газа, датчиков давления и уровня.

Перед приведением в действие выключателя модифицированная камера заполняется оксигидрогеннной смесью с абсолютным давлением около 100 кРа. Оксигидрогеннная смесь вырабатывается генератором газа, который связывает газопровод с резервуаром. После активации выключателя камера заполняется флюидом из воды и водяных паров с абсолютным давлением между 20 и 200 Ра, это следствие процесса дугогашения. Камера связана с быстродействующим выпускным электромагнитным клапаном и газопроводом к сосуду с жидкостью для удаления, созданного после активации выключателя, флюида.

Магнитные клапаны – выпускные и нагнетательные обеспечивают необходимое количество и давление газа в камере, а также опорожнение камеры после

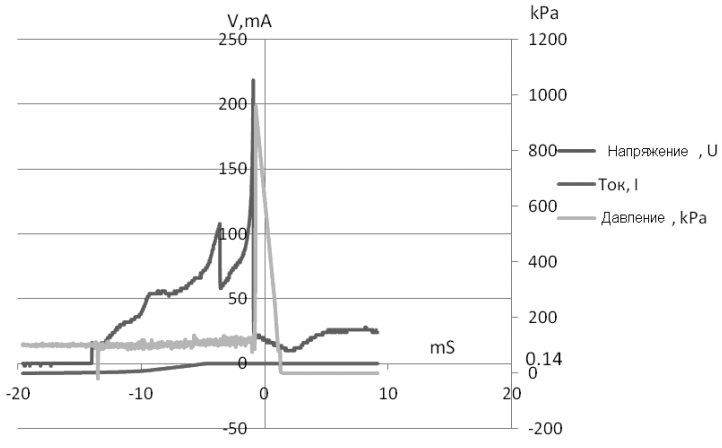



***Рис. 5. Переходный процесс в оксигидрогенной смеси с объемным соотношением водорода и кислорода 2:1.***

***Pic. 5. Transient process in the oxyhydrogen mixture with volume ratio of hydrogen and oxygen 2:1.***

фазового преобразования оксигидрогенной смеси.

Выключатель оснащен еще и электрическим блоком управления, в который входят электрически связанный программируемый микропроцессор, пассивные и активные электронные компоненты, включающая и выключающая обмотки.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ДУГОГАШЕНИЯ

Время отключения, то есть от подачи команды отключения до момента размыкания контактов, является важным параметром выключателей. В нем находят отражение собственное время выключателя (от момента подачи команды на отключение до момента размыкания контактов) и время гашения дуги в полюсах.

Энергия, необходимая для получения оксигидрогена, около 10000 Дж на один литр при давлении 100 кРа, и она определяется первым законом Фарадея об электролитических процессах [7]. Минимальная энергия, требуемая для сжигания оксигидрогеннной смеси, только 0,019 мДж, и она обеспечивается размыканием полюса, когда во внешней цепи выключателя протекает ток.

В процессе исследования зафиксированы изменения тока отключения, напряжения и давления в камере в функции времени. Впервые был изучен переходный процесс дугогашения в камере с 33% водорода и 67% кислорода. Он показан графично на рис. 3. По ходу процесса через наблюдательное стекло камеры наблюдалось горение водорода около 2 с, которое возникло вследствие электрической дуги. Давление увеличилось перед моментом отключения из-за терморасширения газа при горении. Продолжительность переходного процесса в этом случае составляет 25 мс. Время восстановления диэлектрической прочности – 660 мкс. Удаленная энергия водорода в камере 135 Дж [7].

Продолжительность переходного процесса в камере с 50% водорода и 50% кислорода (рис. 4) – 18 мс. Давление в камере в момент отключения 760 кРа, а потом оно снижается до 140 Ра в течение 2,28 мс. Время восстановления диэлектрической прочности около 40 мкс. Удаленная энергия водорода в камере 205 Дж [7].

Переходный процесс в оксигидрогенной смеси с объемным соотношением водорода и кислорода 2:1 и с продолжительностью 15 мс демонстрирует рис. 5.

Давление в камере 960 кРа. Время восстановления диэлектрической прочности – менее 40 мкс, вследствие меньшей прочности поляризации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задачей, на решение которой были направлены наши усилия, стало исследова-

ние разных газовых сред дугогашения постоянного тока, где сам процесс удается обеспечить с большим быстродействием и без негативного воздействия на окружающую среду. Для этого сделан лабораторный стенд трехполюсного выключателя, одна из камер которого изменена так, чтобы ее можно было заполнять разным газом. На стенде исследованы переходные процессы дугогашения в оксигидрогенной смеси с разным объемным соотношением водорода и кислорода.

Полученные данные сравнены с результатами аналогичных испытаний гашения дуги в вакуумной камере. Оказалось, что в среде оксигидрогена время гашения дуги меньше, чем в вакууме. Вместе с тем, однако, зафиксированные показатели перенапряжения больше, а время восстановления диэлектрической прочности оксигидрогенной смеси в четыре раза длиннее, чем вакуума, что требует дополнительной проверки и продолжения экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Александров А. Электрические аппараты и машины. – София: Техника, 2006. – 306 с.
2. Chen B. Intelligent vacuum circuit breaker CN20121229666. ELECTRICAL CO LTD. 2000.
3. Аметистов Е. И. Основы современной энергетики. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 472 с.
4. Homma Sakaki M. M., Kaneko E. History of vacuum circuit breakers and recent events in Japan. *IEEE*. Vol.13, Iss. 1, 2006, pp. 85–92.
5. Евдокунин Г. А., Тилер Г. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения. – СПб: Изд-во М. П. Сизова, 2002. – 114 с.
6. Кравченко А., Метельский В. Элегазовые выключатели нагрузки зарубежных производителей// Электрик. – 2013 – № 1–2. – С. 14–17.
7. Павлов Г., Чернева Г., Васева Р., Секулов Л. Энергетический анализ производства оксигидрогена//Мир транспорта. – 2013. –№ 1. – С. 42–51.


## INVESTIGATION OF ARC-STILLING PROCESSES IN OXYHYDROGEN ENVIRONMENT


***Cherneva, Galina Petkova*** *– assistant professor, doctor at the department of electrical engineering and physics of Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, Bulgaria.*


## ABSTRACT


*This article presents the results of research of arc-stilling processes in oxyhydrogen environment under laboratory conditions. The transient states in admixture with a different volume ratio of hydrogen and oxygen were studied; obtained data were compared with the results of similar tests in a vacuum chamber. To perform research, program laboratory bench was used, which was designed and created by a team of teachers and students of Todor Kableshkov University of Transport.*


## ENGLISH SUMMARY

**Background.**

*One of the main problems in the field of energy and electric vehicles is the development of rectifiers with high speed. Among the parameters that affect the performance exists arc suppression environment, where there are poles of the rectifier. In modern devices, separate hermetic arc-interruption chamber is used, and in recent years mainly two types of rectifiers are being developed- electrogas and vacuum [1,3,5].*

*In electrogas rectifiers [5,6] arc control devices operate in the environment of «electrotechnical gas», sulfur hexafluoride. Their disadvantage is the decomposition products of sulfur hexafluoride – inert gases which do not appear in the atmosphere. Although they are not themselves toxic, they are easily hydrolysed by reacting with moisture to form hydrofluoric acid and sulfur dioxide. Therefore, to absorb them, the gas-insulated circuit breakers are equipped with filters capable to neutralize both gaseous decomposition products, and moisture.*

*Vacuum circuit breakers use another kind of environment in the arc- interruption chamber – vacuum [2,4,5]. Their advantages are: full explosion and fire safety, the ability to implement any turn-off mode, high switching resource, and high mechanical and electrodynamic resistance in commutation in normal and emergency modes, no negative impact on the environment. The disadvantages are: high prime cost, loss of turn-off function due to an accident in the vacuum arc-interruption chamber, a strong dependence on the quality of the contact communication, inapplicability at high voltages, and the occurrence of overvoltage [5].*

**Objective.**

*The aim of the author is to show results obtained in the research with the use of laboratory bench.*

**Methods.**

*The question arose whether it is possible to create DC and AC circuit breaker with high speed of arc suppression in comparison to existing technical solutions and without any negative impact on the environment. The team of Todor Kableshkov University of Transport created a laboratory bench for the study of transient state by arcing DC and AC voltage. Arc suppression in oxyhydrogen mixture was studied and interesting results were obtained, which are introduced in this article.*

***Results.***

***Description of a modified circuit breaker***

*The basis of the laboratory bench was a three-pole vacuum circuit breaker (10 kV/300A). By replacing one of the arc-interruption chambers with an airproof one, made of electric insulating material (Pic. 1), which withstands the absolute pressure of 20 Pa to 1000 kPa, modified phase of a circuit breaker was obtained (Pic. 2).*

*Each chamber is furnished with two pole contacts of a material with high electrical conductivity. One of them is stationary, fixed to the body of a corresponding chamber and is electrically connected to the upper*