

### Вывод

В ходе исследования были рассмотрены 3 варианта оптимизации системы электроснабжения деревень Линдозеро и Юостзеро – строительство дизельной электростанции с электроснабжением второй деревни по линии электропередачи, электроснабжение с помощью ветродизельной электростанции и электроснабжение с помощью фото-дизельной электростанции. Из рассмотренных вариантов только последний удовлетворяет поставленным целям. Гибридная солнечно-дизельная электростанция позволит сэкономить как минимум 941 кг топлива в деревне Линдозеро, 1606 кг – в Юостзеро. Совместная работа фотопанелей и дизельных генераторов позволяет увеличить моторесурс генераторов, тем самым увеличив их срок службы. Кроме того, снижение потребления топлива дизельными генераторами уменьшает негативное влияние вредных выбросов на экологию озер.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погода в Медвежьегорске // Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=22721>
2. Ветрогенератор 1 кВт YASHEL WT1000i/48V // YASHEL SHOP. URL: <https://yashel.shop/vetrogenerator-YASHEL%20-wt1000-naprjazhenie-48v>
3. Солнечная батарея TP6U-300W-MONO // Helios House. URL: [https://www.helios-house.ru/monokristallicheskie-solnechnye-batarei/delta\\_bst\\_300\\_24\\_duo/view-details.html](https://www.helios-house.ru/monokristallicheskie-solnechnye-batarei/delta_bst_300_24_duo/view-details.html)
4. On-line калькулятор солнечной, ветровой и тепловой энергии // Helios House. URL: <http://www.helios-house.ru>
5. Инвертор МАП DOMINATOR 6 кВт 24 В МикроАрт // RealSolar. URL: <https://realsolar.ru/inventory/inventory-map/map-dominator/map-dominator-6kw-24v/>
6. Контроллер КЭС DOMINATOR MPPT 250/60 // Энергия 12/24/48 220. URL: [http://www.invertor.ru/zzz/item/kes\\_dominator\\_mppt\\_250\\_60](http://www.invertor.ru/zzz/item/kes_dominator_mppt_250_60)
7. Аккумулятор LiFePO4 24V 210Ah // LiFePO4 аккумуляторы и комплектующие. URL: <https://lifepo4.ru/akkumulyator-lifepo4-24v-210ah>

## УВЕЛИЧЕНИЕ ОТКЛЮЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ АКСИАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С.Ю. Шабуров<sup>1</sup>, О.В. Никитенко<sup>1</sup>, Л.А. Конькова<sup>2</sup>

*Томский политехнический университет,  
ИШЭ, ОЭЭ, <sup>1</sup>гр. 5А05, <sup>2</sup>гр. 5АМ28*

Научный руководитель: А.Ю. Юшков, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Износ контактов высоковольтных вакуумных выключателей несет за собой критически опасные для энергетической сети последствия такие как повторные пробои самих выключателей и вывод из строя присоединенного к нему оборудования на подстанциях и в сетях. Эта проблема возникает в связи с воздействием дуги, возникающей при коммутации выключателей, за счет прожигания анода. В классическом исполнении выключателей это приводит к ухудшению электромеханических свойств контактов, а также после коммутации на поверхности контактов остается небольшое количество электронов, что способствует повторному зажиганию дуги. Решить эту проблему можно несколькими способами: путем изменения формы контактов вакуумных выключателей и созданием внешнего магнитного поля.

Экспериментов с наложением аксиального магнитного поля (АМП) независимого от отключаемого тока практически нет. В связи с этим мы считаем, что исследование влияния независимого от отключаемого тока АМП на характер поведения вакуумной дуги является актуальной задачей.

Работа проводилась на испытательном стенде, собранном по схеме Вейль-Добке, которая имитирует воздействие на выключатель со стороны реальной электрической сети, что позволяет формировать ток короткого замыкания и переходное восстанавливающееся напряжение [1]. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.

Силовая часть содержит два контура: силовоточный контур (СК) и высоковольтный контур (ВК) переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН). Силовоточная часть стенда собрана из конденсаторов с суммарной емкостью  $C_T=75$  мФ и  $L_T=136$  мкГн. Емкостный накопитель заряжается от постоянного источника питания. Максимальная амплитуда тока может достигать  $I=40$  кА при зарядном напряжении конденсаторной батареи  $U=2,0$  кВ. коммутация СК происходит с помощью включающего аппарата (ВА). Контур ПВН, относительно более слаботочная цепь, образован элементами  $L_B=3,7$  мГн и  $C_B=48$  мкФ с коммутатором (Р) на основе воздушного разрядника. Данная цепь генерирует гармонический импульс тока длительностью по основанию 1 мс амплитудой около 5 кА. Форма импульсов тока каждого из контуров соответствует формуле  $i=i_0\sin(2\pi vt)$ , где  $f=50$  Гц для СК и  $f=500$  Гц для ВК. Испытуемый аппарат (ИА) – испытуемый выключатель (ИВ) – соединен последовательно с СК и ВК.

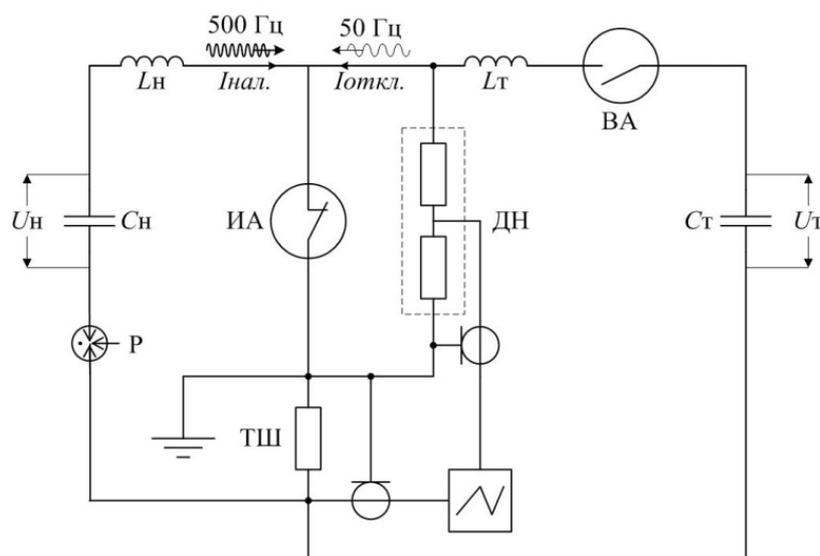


Рис. 1. Электрическая схема экспериментального стенда по Вейль-Добке

В процессе экспериментов регистрируются напряжения заряда конденсаторов СГ и ВГ, контролируется вакуум в камере, производится осциллографирование напряжения и тока при отключении выключателя, а также видеосъемка процесса горения дуги.

По осциллограммам определяются: результат успешного или неуспешного отключения, численные значения токов дуги и тока наложения, время горения дуги, параметры импульса ПВН.

В начале работы были проведены эксперименты по определению отключающей способности контактов без наложения магнитного поля. Опыты проводились при разных амплитудах тока, пропускаемого через контакты. Осциллограммы показали, что отказы выключателя происходит при токе 12,5 кА. Осциллограммы при отключении тока представлены на рис. 2 (ток отключения – луч 1).

Из рис. 2, видно, что после первой полуволны тока происходит повторное зажигание разряда и это квалифицируется как отказ выключателя [2].

На рис. 3 продемонстрированы снимки дуги 12,5 кА со скоростной камеры Photron FASTCAM SA1.1.

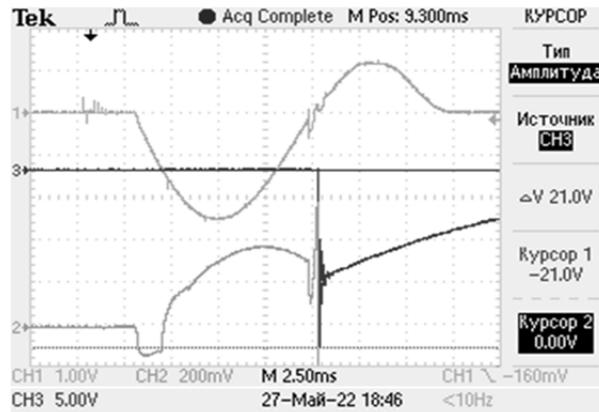


Рис. 2. Осциллограммы при отключении предельного тока 12,5 кА

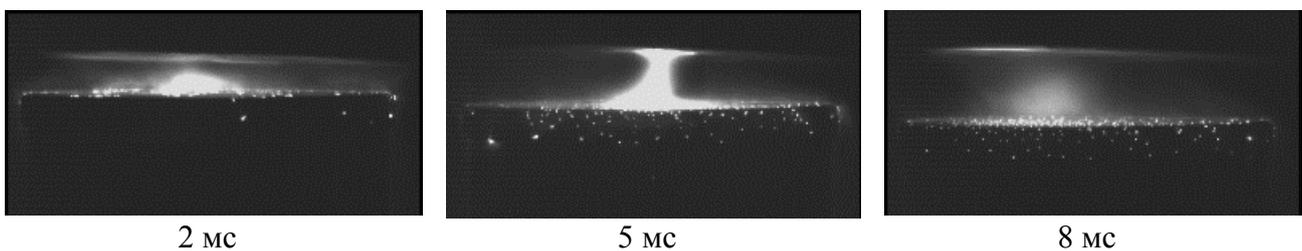


Рис. 3. Характер дуги во время отключения тока 12,5 кА

Видеосъемка дуги показала, что при амплитуде тока от 5 до 10 кА дуга носит диффузный характер, при значении равном 10 кА и выше характер дуги становится контрагированным [3]. В данных условиях ИВ способен отключить ток амплитудой до 12,5 кА.

Далее были проведены эксперименты с наложением аксиального магнитного поля с помощью катушек Гельмгольца. Амплитуда магнитного поля составила 30 мТл, время горения дуги 8–9 мс.

На рис. 4 приведена типичная отключаемого тока, при успешном отключении.

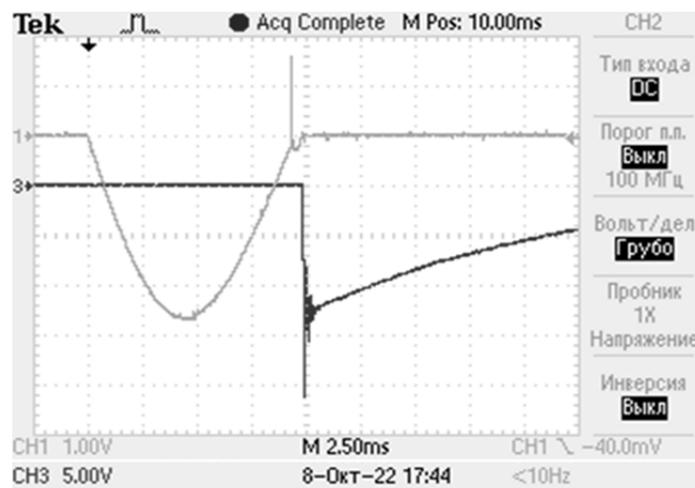


Рис. 4. Осциллограммы при отключении тока 17,5 кА

При амплитуде тока от 10 до 15 кА дуга носит диффузный характер, при значении близком к 15 кА и выше характер дуги становится контрагированным. Наложение АМП позволило отключить ток амплитудой до 17,5 кА.

На рис. 5 продемонстрированы снимки дуги амплитудой тока 15 кА.

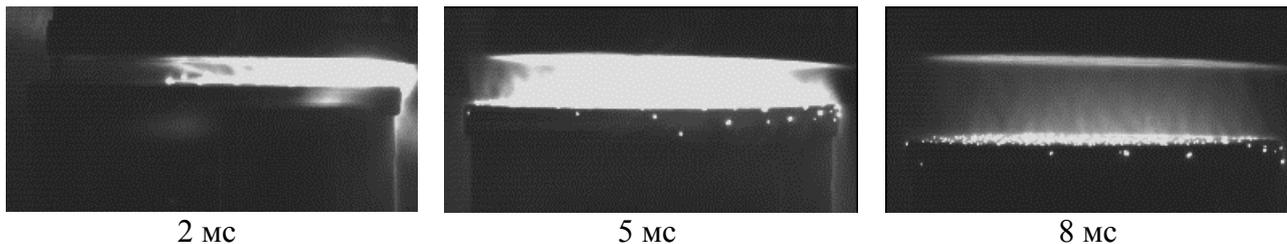


Рис. 5. Характер дуги во время отключения при амплитуде тока 15 кА

Снимки показывают, что наложение АМП значительно меняет форму дуги – она становится более объемной, распределенной по всей поверхности контактов.

Результат проведенных экспериментов демонстрирует, что наложение аксиального магнитного поля ведет к увеличению отключающей способности ИВ, а также повышает значение отключаемого тока, при котором дуга переходит в контрагированную форму. При диффузной форме дуги также снижается выделение энергии на контактах, что сокращает их эрозию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавринович В.А. Синтетические испытания вакуумных выключателей / В.А. Лавринович, В.В. Лопатин, С.Н. Перепелкин // Промышленная энергетика. – 2005. – № 2. – С. 19–22.
2. ГОСТ Р 52565-2006 «Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ».
3. Раховский В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме. – М.: Наука, 1970. – 536 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАГОТОВКИ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ

**А.В. Борисов**

*Томский политехнический университет,  
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5АМ28*

Научный руководитель: Т.М. Солдатенко, старший преподаватель ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Кабельно-проводниковая продукция является неотъемлемой частью электротехнических комплексов и систем и играет важную роль в обеспечении передачи электрической энергии и сигналов между различными устройствами, компонентами и системами. Она является основным средством связи и энергоснабжения во многих отраслях промышленности, зданиях, транспортных сетях и других инфраструктурных объектах. Приведем несколько ключевых значений кабельно-проводниковой продукции:

- Передача энергии:  
Кабели и провода используются для передачи электрической энергии от источников питания к различным потребителям. Они обеспечивают электроснабжение зданий, производственных объектов, промышленных установок, оборудования и многих других систем.
- Передача данных и сигналов:  
Кабели и провода служат для передачи информации, данных и сигналов между различными устройствами и компонентами в электронных и телекоммуникационных системах. Они позволяют связывать компьютеры, телефоны, сети связи, системы безопасности, звуковое и видеооборудование и многое другое.