

УДК 53.05

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР И ОЗОНА НА СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ\*

*А.В. Буторина<sup>1</sup>, А.И. Смородин<sup>2</sup>, А.В. Пушкарев<sup>2</sup>, А.В. Шакуров<sup>2</sup>,  
Д.А. Тарабакин<sup>3</sup>, Н.А. Андреев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова  
д. 1, ул. Островитянова, Москва, 117997, Россия  
тел.: +7(495)434-57-92; e-mail: avbutorina@gmail.com

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
д. 5, ул. 2-ая Бауманская, Москва, 105005, Россия  
тел.: +7(499)263-62-54; e-mail: pushkarevbmstu@gmail.com

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики  
д. 49, Кронверский просп., Санкт-Петербург, 197101, Россия  
тел.: +7(812)232-97-04; e-mail: tarabakin7755@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.04-06.036-045

Заключение совета рецензентов: 21.01.19 Заключение совета экспертов: 25.01.19 Принято к публикации: 01.02.19

В статье рассматриваются вопросы влияния озона и низких температур на свойства изоляции электротехнических материалов.

Сочетание холодильного хранения продуктов с использованием электронно-ионных технологий (ЭИТ, включая озон) позволяет во многом решить проблему минимизации потерь продуктов при хранении и снизить энергопотребление. Реальные объекты работают при различных рабочих температурах, область значений которых обычно находится в интервале от минус  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и в этом же интервале температур применяется озон.

Приведены и проанализированы результаты экспериментальных исследований совместного влияния низкой температуры, озона различной концентрации и механического нагружения на электроизоляцию силовых, электрических и информационных линий связи. Объектом исследований служили образцы электротехнической продукции, используемые в низкотемпературных камерах хранения пищевых продуктов.

Выявлено, что все образцы после длительного воздействия низких температур и высоких концентраций озона сохранили свои электроизоляционные свойства. Исключение составляют образцы электротехнических материалов марки КГ. Наблюдалось растрескивание изоляции некоторых образцов марки ВВГ, ВВГнг, ПВС и ПВ-3 при температурах охлаждения  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что связано с тем, что образцы были нагружены в большей степени по сравнению с их нагружением в реальных условиях.

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать заключение о том, что современные промышленные низкотемпературные камеры хранения пищевых продуктов могут применять ЭИТ технологии, и при этом электротехнические материалы сохраняют свои электроизоляционные свойства.

Ключевые слова: озон; низкие температуры; электротехнические материалы; пищевые продукты; изоляция; электронно-ионные технологии; холодильные объекты; эксплуатация.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF OZONE AND LOW TEMPERATURES ON THE INSULATION OF ELECTRICAL MATERIALS

*A. V. Butorina<sup>1</sup>, A. I. Smorodin<sup>2</sup>, A. V. Pushkarev<sup>2</sup>, A. V. Shakurov<sup>2</sup>,  
D. A. Tarabakin<sup>3</sup>, N. A. Andreev<sup>2</sup>*

\* Буторина А.В., Смородин А.И., Пушкарев А.В., Шакуров А.В., Тарабакин Д.А., Андреев Н.А. Исследование влияния низких температур и озона на свойства изоляции электротехнических материалов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;04-06:36-45.

<sup>1</sup>Pirogov Russian National Research Medical University  
1 Ostrovityanova Str., Moscow, 117997, Russia

tel.: +7 495 434-57-92, e-mail: avbutorina@gmail.com

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University

5, 2nd Baumanskaya Str., Moscow, 105005, Russia

tel.: +7 499 263 62 54, e-mail: pushkarevbmstu@gmail.com

<sup>3</sup>Saint Petersburg National Research University

of Information Technologies, Mechanics and Optics

49 Kronverskiy Av., Saint-Petersburg, 197101, Russia

tel.: +7 812 232 97 04, e-mail: tarabakin7755@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.04-06.036-045

Referred 21 January 2019 Received in revised form 25 January 2019 Accepted 1 February 2019

Ozone and low temperatures influence on isolation of electrical materials are considered.

Combination of low temperature food storage with the electron-ion technology (including ozone) gives an ability to solve the problems of products spoilage minimization and reduction of energy consumption. Real objects have storage temperatures from  $-24^{\circ}\text{C}$  till  $+24^{\circ}\text{C}$ . Ozone is used at the same.

Power, electrical and informational communication lines were used. The object of the research was samples of electrical products. Usually they are used in low temperature storage chambers. Combined effect of low temperatures, ozone different densities, mechanical loading on isolation of communicational lines are analyzed.

Most samples after exposure of low temperatures and high ozone densities stand the test. That's why it is possible to use them in practice. Only KG (H07RN-F) didn't pass the test. The isolation of several samples, such as VVG (NYY-O), VVGng (NYY-J), PWC (H05VV-F) and PW-3, cracked at cooling temperatures  $-18^{\circ}\text{C}$  and  $-24^{\circ}\text{C}$ . In real use these samples are not so loaded. So, it can be considered, that in conditions of long use, electrical materials are usable (low temperatures and ozone densities till  $40\text{ g/m}^3$  are allowed). The results allow making a conclusion that most modern industrial low temperature storage chambers let use electron-ion technologies.

Keywords: ozone; low temperatures; electrical materials; food products; insulation, electron-ion technologies; refrigeration; operation.



Антонина Валентиновна  
Буторина  
Antonina Butorina

**Сведения об авторе:** д-р мед. наук, профессор, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова.

**Образование:** Архангельский государственный медицинский институт (1983 г.).

**Область научных интересов:** криохирургия; криотерапия.

**Публикации:** 87.

*h*-index: 8, ORCID 0000-0001-8465-0593, Research Gate Y-5370-2018.

**Information about the author:** D.Sc. in Medicine, Pirogov Russian National Research Medical University.

**Education:** Northern State Medical University, 1983.

**Research interests:** cryosurgery; cryotherapy.

**Publications:** 87.



Анатолий Иванович  
Смородин  
Anatoliy Smorodin

**Сведения об авторе:** д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Образование:** Московский институт химического машиностроения (1961 г.).

**Область научных интересов:** холодильная и криогенная техника; генераторы озона; процессы тепло- и массообмена.

**Публикации:** 64.

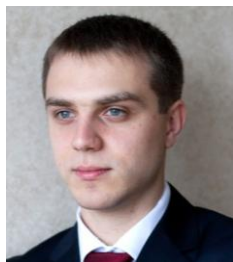
*h*-index: 4; ORCID 0000-0003-2034-0937.

**Information about the author:** D.Sc. in Engineering, Professor, Bauman Moscow State Technical University.

**Education:** Moscow Institute of Chemical Engineering, 1961.

**Research interests:** refrigeration and cryogenic equipment; ozone generators; heat and mass transfer processes.

**Publications:** 64.



*Александр Васильевич Пушкарёв*  
*Aleksandr Pushkarov*

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, инженер 1-ой категории, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Образование:** МГТУ им. Н.Э. Баумана (2013 г.).

**Область научных интересов:** процессы тепло- и массообмена; низкотемпературное воздействие на биоткани; низкотемпературная техника.

**Публикации:** 42.

*h*-index: 6; ORCID 0000-0002-1737-7838; Research Gate J-3509-2014.

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, 1st Category Engineer, Bauman Moscow State Technical University.

**Education:** Bauman Moscow State Technical University, 2013.

**Research interests:** processes of heat and mass transfer; low-temperature exposure on biotissues; low-temperature equipment.

**Publications:** 42.



*Алексей Валерьевич Шакуров*  
*Alexey Shakurov*

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, ведущий отделом 3.1 НИИ ЭМ, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Образование:** МГТУ им. Н.Э. Баумана (2012 г.).

**Область научных интересов:** процессы тепло- и массообмена; низкотемпературное воздействие на биоткани; низкотемпературная техника.

**Публикации:** 32.

*h*-index: 5, ORCID 0000-0001-6110-8101, Research Gate D-3835-2014.

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, Head of Research Department Bauman Moscow State Technical University.

**Education:** Bauman Moscow State Technical University, 2012.

**Research interests:** processes of heat and mass transfer; cryoexposure; low-temperature equipment.

**Publications:** 32.



*Денис Александрович Тарабакин*  
*Denis Tarabakin*

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, инженер, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики.

**Образование:** Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (2002 г.).

**Область научных интересов:** холодильная и криогенная техника; генераторы озона.

**Публикации:** 4.

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, Engineer, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.

**Education:** Saint Petersburg ITMO University, 2002.

**Research interests:** refrigeration and cryogenic equipment; ozone generators.

**Publications:** 4.



*Андреев Николай Алексеевич*  
*Andreev Nikolay*

**Сведения об авторе:** студент, инженер, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Образование:** МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Область научных интересов:** низкотемпературная медицинская техника.

**Публикации:** 2.

**Information about the author:** Student, Engineer, Bauman Moscow State Technical University.

**Education:** Bauman Moscow State Technical University.

**Research interests:** refrigeration and cryogenic equipment; cryosurgery.

**Publications:** 2.

## 1. Введение

Анализ исследований, выполненных в нашей стране и за рубежом по проблемам минимизации потерь продуктов при хранении и снижения энергопотребления, показал, что сочетание холодильного хранения продуктов с электронно-ионными технологиями, включая озон, позволяет во многом решить эту проблему [1–7].

Впервые метод озонирования был применен в 1909 г. для обработки воздуха боенского холодиль-

ника в г. Кёльне с целью увеличения сроков хранения мяса [8]. С 1975 г. на предприятиях Росмясомолторга начали применять озонирование при хранении продуктов, а также при обработке холодильных камер и тары [9]. В США более 80 % складов для хранения яиц оборудованы озонаторными установками [10, 11].

Диапазон температур, при которых хранятся продукты, составляет от  $-24^{\circ}\text{C}$  до  $+24^{\circ}\text{C}$  [4], и в этом же диапазоне применяется озон.

Современные холодильные камеры представляют собой автоматизированные комплексы, которые включают в себя системы поддержания параметров температуры и влажности внутри камеры, систему оповещения о нахождении внутри камеры испортившихся продуктов, систему освещения, систему авторазморозки [12, 13]. По периметру камеры располагаются электротехническое оборудование, кабели и провода, обеспечивающие бесперебойную работу оборудования холодильной камеры и передачу информации на центральный диспетчерский пульт управления.

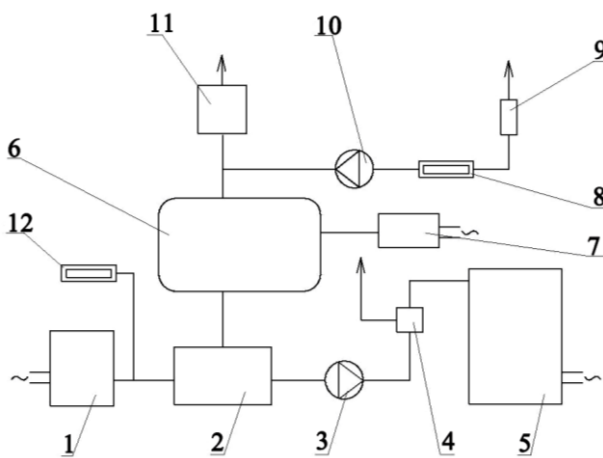
Несмотря на то, что электронно-ионные технологии и озон всё чаще применяются при хранении продуктов [14], их влияние на изоляцию электротехнических материалов не исследовалось.

Целью работы являлось проведение экспериментальных исследований совместного влияния низкой температуры, озона различной концентрации и механического нагружения на электроизоляцию силовых, электрических и информационных линий связи. Объектом исследований служили образцы электротехнической продукции, используемые в низкотемпературных камерах хранения пищевых продуктов [15].

Список обозначений	
Аббревиатуры	
ЭИТ	Электронно-ионные технологии
КГ, ВВГ, ВВГнг, ПВС и ПВ-3	Виды кабелей, с которыми проводились эксперименты
ТУ	Технические условия

## 2. Экспериментальная часть

Изучение влияния низких температур на характеристики электротехнических материалов и на их стойкость в среде озона проведено на экспериментальной установке [16], принципиальная технологическая схема которой представлена на рис. 1.



**Рис. 1** – Схема экспериментальной установки:  
 1 – источник электрического питания; 2 – генератор озона «ОП-100»; 3 – измеритель расхода кислорода; 4 – делитель потока; 5 – кислородный концентратор «ОХУ-6000»;  
 6 – изотермическая исследовательская камера;  
 7 – холодильная машина; 8 – озонметр «Медозон 254/5»;  
 9 – каталитический разложитель озона (вспомогательный);  
 10 – измеритель расхода озонно-кислородной смеси;  
 11 – каталитический разложитель озона (основной);  
 12 – киловольтметр С-96

**Fig. 1** – The scheme of the experimental setup:  
 1 – electrical power supply; 2 – ozone generator «ОП-100»;  
 3 – oxygen consumption meter; 4 – flow divider; 5 – oxygen concentrator «ОХУ-6000»; 6 – isothermal research chamber;  
 7 – refrigerating machine; 8 – ozonometer «Medozon 254/5»;  
 9 – catalytic ozone decomposer (auxiliary); 10 – oxygen-ozone mixture flow meter; 11 – catalytic ozone decomposer (main);  
 12 – kilovoltmeter C-96

В созданной экспериментальной установке главным элементом является изотермическая исследовательская камера 6 высотой 300 мм и площадью 300x300 мм, выполненная из полиуретана. В эту камеру помещались образцы электротехнических материалов длиной 200 мм, которые были согнуты пополам, образуя тем самым максимальное механическое напряжение в месте сгиба. Изотермическая исследовательская камера помещалась внутри морозильника «Бирюса», что обеспечивало ее охлаждение до требуемых значений температуры (рис. 2).



**Рис. 2** – Общий вид экспериментальной установки с холодильной камерой  
**Fig. 2** – General view of the experimental setup with a cooling chamber

В изотермическую исследовательскую камеру 6 подавался озон, который генерировался в озонаторе «ОП-100» (2) [17–19], работающем на кислороде, вырабатываемом кислородным концентратором «ОХУ-6000» 5. Расход кислорода устанавливался с



помощью измерителя расхода 3. Напряжение электрического тока, подающегося на генератор озона от источника электрического питания 1, измерялось киловольтметром С-96 12. Концентрация озона в изотермической исследовательской камере 6 контролировалась измерителем концентрации озона «Медозон 254/5» 8. Для предотвращения попадания озона в атмосферу озono-кислородная смесь на выходе из изотермической исследовательской камеры 6 и на выходе из озонметра «Медозон 254/5» проходила через основной и вспомогательный каталитические разложители озона 9, 11.

Программа исследования электротехнических материалов при различных температурах и концентрациях озона включала следующие этапы:

- исследование влияния температуры на свойства изоляции электротехнических материалов;
- исследование влияния продолжительности воздействия озона при низких температурах на свойства изоляции электротехнических материалов;

– исследование влияния концентрации озона на свойства изоляции электротехнических материалов.

Для проведения исследований при комнатной температуре экспериментальная установка претерпела изменения – вместо полиуретановой исследовательской камеры была использована камера из стекла, в которой размещались испытуемые образцы. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 3.

Для испытания каждой марки электротехнического материала использовалось 5 образцов. Все образцы имели длину  $200 \pm 5$  мм и перед испытаниями сгибались на угол меньше  $90^\circ$  – примерно  $80^\circ \pm 3^\circ$ . Изгиб и фиксация этого угла проводилась с помощью специального приспособления, в котором одновременно осуществлялось и его «заневоливание». Уменьшение угла сгиба позволяло увеличить напряженное состояние изоляции кабелей в месте сгиба и тем самым смоделировать условия, которые могут реально проявиться во время проведения монтажных работ.



Рис. 3 – Общий вид экспериментальной установки  
Fig. 3 – General view of the experimental setup

Образцы перед экспериментальными исследованиями обезжиривались медицинским спиртом для исключения влияния влаги и жировых загрязнений.

Опыты проводились при значениях температуры:  $+24^\circ\text{C}$ ,  $+3^\circ\text{C}$ ,  $-6^\circ\text{C}$ ,  $-18^\circ\text{C}$  и  $-24^\circ\text{C}$ . Концентрация озона составляла от  $2 \text{ г/м}^3$  до  $100 \text{ г/м}^3$  [20, 21], а продолжительность воздействия от 2-х до 8-ми часов.

Следует отметить, что концентрация озона в опытах была на порядок выше той концентрации, которая реально применяется в технологии хранения пищевых продуктов. Но это позволило существенно

сократить время проведения экспериментальных исследований.

Образцы помещались в изотермическую камеру, которая устанавливалась в камеру с регулируемой температурой охлаждения. Для определения влияния озона на эксплуатационные характеристики электротехнических материалов эксперименты проводились в последовательности, описанной ниже. Подготовленные к экспериментам образцы, помещались в исследовательскую изотермическую камеру и захлаживались до требуемой температуры в соответствии с программой испытаний (табл. 1).

Таблица 1

Программа испытаний

Table 1

Test program

Т-ра, °С	Конц. озона, г/м <sup>3</sup>	Время, час	ВВГ (3-х жил.)	ВВГнг (3-х жил.)	ПВЗ (3-х жил.)	ПВС (одножил.)	КГ (одножил.)
-24	100	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
-24	2	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
-18	100	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
-18	2	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
-6	2	2	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
-6	2	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
-6	100	2	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
-6	100	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
+3	2	2	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
+3	100	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
+24	2	2	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.
+24	100	8	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 6 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 7 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 4 мм Кол. 5шт.	Образец Ø 10 мм Кол. 5шт.

Захолаживание проводили в течение 2–3 часов. За это время в камере температура выравнивалась до необходимой по всему объему. Контроль над этим процессом проводился с помощью трех термопар [22, 23].

Следующим этапом являлась подача озона в герметичную камеру. Время ее продувки озонкислородной смесью до одинаковой концентрации озона по всему объему составляло примерно один час. Контроль над этим процессом осуществлялся по измерению концентрации озона с помощью озонметра «Медозон 254/5» [24].

Заданные программой испытания значения температуры и концентрации озона поддерживались постоянными в течение всего времени проведения опыта.

После окончания эксперимента холодильная машина отключалась, и нагрев изотермической камеры вместе с образцами до температуры окружающей

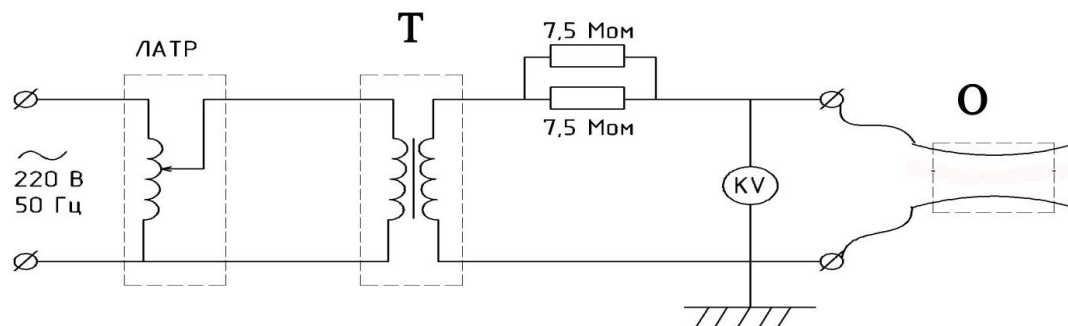
среды проходил в течение 24 часов. Контроль осуществлялся с помощью термопар.

После отепления образцы извлекались из камеры, подвергались внешнему осмотру и сопоставлению с образцами-свидетелями. Сопоставление проводилось по следующим параметрам:

- по наличию разрушения изоляции образца;
- по изменению структуры изоляции образца за счет изменения поверхности материалов образцов, изменению цвета, появлению постороннего запаха;
- по изменению испытательного напряжения по сравнению с испытательным напряжением для каждого электротехнического материала в соответствии с ТУ [25–27].

Проведение экспериментального исследования на пробивное напряжение выполнялось на специально разработанном стенде, принципиальная схема которого представлена на рис. 4.





**Рис. 4 –** Схема экспериментальной установки для измерения испытательного напряжения на испытуемых образцах: Т – трансформатор, О – образец, ЛАТР – лабораторный автотрансформатор

**Fig. 4 –** Scheme of the experimental setup for measuring the test voltage on the test samples: Т – transformer, О – sample, ЛАТР – laboratory autotransformer

На испытуемые образцы подавался переменный ток частотой 50 Гц и напряжением от 0 до 5 кВ [28]. Это обеспечивалось высоковольтным трансформатором (Т) и лабораторным автотрансформатором (ЛАТР). Защита высоковольтного трансформатора обеспечивалась двумя сопротивлениями по 7,5 Мом. Испытательное напряжение подавалось с одной стороны образца на две жилы, а с другой – эти жилы были разведены между собой на расстояние не менее 50 мм.

### 3. Результаты и их обсуждение

В табл. 2 приведены результаты экспериментальных исследований влияния температуры, концентрации озона и времени его воздействия на разрушение изоляции исследованных образцов электротехнических материалов [29].

#### Результаты экспериментов

Таблица 2

#### Experimental results

Table 2

Т-ра, °С	Конц. озона, г/м <sup>3</sup>	Время, час	ВВГ	ВВГнг	ПВ-3	ПВС	КГ
-24	100	8	Растрескивание изоляции, выделение пластификатора (маслянистая поверхность изоляции), появление постороннего запаха				Разрушение изоляции
-24	2	8	Нет изменений				
-18	100	8	Растрескивание изоляции, выделение пластификатора (маслянистая поверхность изоляции), появление постороннего запаха				
-18	2	8	Нет изменений				
-6	100	2	Выделение пластификатора (маслянистая поверхность изоляции), появление постороннего запаха				
-6	100	8	Выделение пластификатора (маслянистая поверхность изоляции), появление постороннего запаха				
-6	2	2	Нет изменений				
-6	2	8	Нет изменений				
+3	2	2	Нет изменений				
+3	100	8	Выделение пластификатора (маслянистая поверхность изоляции), появление постороннего запаха				
+24	2	2	Нет изменений				
+24	100	8	Выделение пластификатора (маслянистая поверхность изоляции), появление постороннего запаха				

Как видно из табл. 2, температура оказывает более заметное влияние на механическую прочность образцов ВВГ, ВВГнг, ПВ-3 и ПВС, изоляция которых выполнена из поливинилхлорида. Так,

при проведении опыта при температуре -24 °С и концентрации озона 100 г/м<sup>3</sup> у образцов ВВГ и ПВ-3 наблюдалось растрескивание изоляции в месте сгиба.

При температуре  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  и концентрации озона  $100\text{ г/м}^3$  у всех образцов кроме КГ, изоляция оказалась неповрежденной, не считая покрытия ее маслянистым слоем за счет выхода пластификатора из изоляционного материала [30]. На кабель же с резиновой изоляцией существенное влияние оказывает концентрация озона – даже при низкой концентрации в  $2\text{ г/м}^3$  резиновая изоляция полностью разрушилась.

Высокая концентрация озона оказывает заметное влияние на появление пластификатора на поверхности исследуемых образцов. Этот процесс сопровождается появлением маслянистости на поверхности образца, специфического запаха и изменением окраски изоляции, что связано с изменением структуры материала.

Эксплуатация электротехнических материалов в озono-воздушной среде может приводить к изменению структуры материала, что может понизить его изоляционные свойства. Это обстоятельство требует проверки и проведения специальных исследований в соответствии с ТУ на электротехническую продукцию. Кабели могут считаться пригодными для эксплуатации, если их изоляция выдерживает в течение 3-х минут испытательное напряжение, соответствующее его номенклатуре.

Как видно, большинство образцов после воздействия низких температур и высоких концентраций озона выдержали испытания и, следовательно, могут быть пригодны для дальнейшего использования. Исключение составляют образцы электротехнических материалов марки КГ. Наблюдалось растрескивание изоляции некоторых образцов марки ВВГ, ВВГнг, ПВС и ПВ-3 при температурах охлаждения  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что можно объяснить тем, что образцы были нагружены в большей степени по сравнению с их нагружением в реальных условиях.

#### 4. Заключение

В результате выполненной работы, можно считать, что в условиях эксплуатации при температуре от  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$  и, при концентрациях озона, не превышающих  $40\text{ г/м}^3$ , электротехнические материалы марок ВВГ, ВВГнг, ПВС и ПВ3 не разрушаются. Разрушение образцов марок ВВГ, ВВГнг, ПВС и ПВ3 при температуре  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  и концентрациях озона  $100\text{ г/м}^3$  обусловлено тем, что образцы были нагружены в большей степени по сравнению с реальными условиями. Кроме того, следует отметить, что образцы электротехнических материалов марки КГ не совместимы с ЭИТ-технологиями, так как разрушаются даже при малых концентрациях озона ( $2\text{ г/м}^3$ ).

#### Список литературы

- [1] Выгодин, В.А. Энергосберегающие методы в холодильной технологии и технике. [Текст] / В.А. Выгодин, С.Б. Бабакин, С.А. Плешанов // Производство и реализация мороженого и быстрозамороженных продуктов. – 2001. – № 6. – С. 30–32.
- [2] Выгодин, В.А. Энергосберегающие методы в холодильной технологии и технике. [Текст] / В.А. Выгодин // Холодильная техника. – 2001. – № 12. – С. 30–32.
- [3] Выгодин, В.А. Экономия топливно-энергетических и материальных ресурсов на холодильных предприятиях Росмясомолторга. [Текст] / В.А. Выгодин // Холодильная техника. – 1984. – № 7. – С. 13–16.
- [4] Глобальное потепление: позиция Международного института холода. Коммюнике Международного института холода (МИХ), Холодильная техника. – 2005. – № 4. – С. 47.
- [5] Архаров, А.М. Криогенные системы Т.1 / А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин. – М.: Машиностроение, 1996. – 575с
- [6] Архаров, А.М. Роль криологии в развитии цивилизации [Текст] / А.М. Архаров // Холодильная техника. – 2007. – № 2. – С. 2–5.
- [7] Алексева, Л.П. Озонирование в технологии очистки природных вод. [Текст] / Л.П. Алексева, В.Л. Драгинский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 4. – С. 42–44.
- [8] Ильина Е.А. Санитарная обработка холодильных камер озонированием. [Текст] / Е.А. Ильина, В.В. Коваль, А.А. Козлова // Холодильная техника. – 1979. – № 8. – С. 56–57.
- [9] Караффа-Корбуть, В.В. Озон и его применение в промышленности и санитарии / В.В. Караффа-Корбуть. – СПб.: Образование, 1912.
- [10] Кривошипин, И.П. Озон в промышленном птицеводстве / И.П. Кривошипин. – М.: Росагропромиздат, 1998. – 125 с.
- [11] Тарабакин, Д.А. Экспериментальное исследование влияния озono-воздушной смеси на отпугивание мышей. [Текст] / Д.А. Тарабакин [и др.] // Научно-практический журнал по вопросам санитарно-эпидемиологического благополучия населения, теории и практики борьбы с вредителями «Пест-менеджмент». – 2011. – № 3 (79). – С. 38–41.
- [12] Бабакин, Б.С. Электротехнология в холодильной промышленности / Б.С. Бабакин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 199 с.
- [13] Бабакин, Б.С. Перспективная техника и технология холодильной обработки мяса и мясопродуктов / Б.С. Бабакин., М.Р. Бовкун, В.М. Чантурия. – М.: Информагротех, 1991. – 92 с.
- [14] Влахович, С. Прогноз развития рынка замороженных полуфабрикатов / С. Влахович // Империя холода. – 2009. – № 12. – С. 76–78.





[15] Юсипович, Д. Холодильные сооружения [Текст] / Д. Юсипович // Империя холода. – 2010. – № 7. – С. 11–12.

[16] Лужков, Ю.М. Организация производства отечественных озонаторных установок нового поколения для систем централизованного водоснабжения / Ю.М. Лужков [и др.] // Тр. VII симп. «Электротехника». – 2010. – Т. 4. – С. 24–26.

[17] Соломонов, Ю.С. Отечественная озонаторная установка ОУ-25 [Текст] / Ю.С. Соломонов [и др.] // Полет. – 2004. – № 2. – С. 38–42.

[18] Степанянц, В.Г. Состояние и перспективы и развития озонаторостроения [Текст] / В.Г. Степанянц, И.П. Верещагин, М.В. Соколова // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1993. – № 4. – С. 31–34.

[19] Смородин, А.И. Высоковольтный генератор озона нового поколения [Текст] / А.И. Смородин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 7. – С. 45–48.

[20] Лунин, В.В. Физическая химия озона / В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. – М.: Издательство МГУ, 1998. – 480 с.

[21] Филиппов, Ю.В. Электросинтез озона / Ю.В. Филиппов, В.А. Вобликова, В.И. Пантелеев. – М.: МГУ, 1987. – 237 с.

[22] Кондратенко, Р.О. Исследование температурного поля на поверхности биологической ткани и оценка количества отводимого от нее тепла при охлаждении тонкой пленкой кипящей газовой смеси для нужд спортивной медицины [Текст] / Р.О. Кондратенко [и др.] // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2011. – Т. 87. – № 3. – С. 20–27.

[23] Kondratenko, R. The study of the temperature field in the skin cover when ispersing gas mixtures to – 35.5; –25.0; –15.0 c temperature level for application in criomedicine and criotherapy / R. Kondratenko, A. Butorina, S. Nesterov // 23st International Congress of Refrigeration, ICR 2011, August 21–26, 2011, Prague, Czech Republic; p. 733–739.

[24] Смородин, А.И. Возможности применения озоновых технологий в области питьевого водоснабжения. [Текст] / А.И. Смородин, Д.А. Тарабакин, А.В. Буторина // Научная мысль. – 2017. – Т. 2. – № 4 (26). – С. 80–83.

[25] Бабакин, Б.С., Электрофизические методы в холодильной технике и технологии. / Б.С. Бабакин, М.И. Воронин / Международная научно-техническая конференция, проходившая в рамках выставки «ХолодЭкспо Россия-2009», Москва, 2009. – С. 39–41.

[26] Байг, С. Совершенствование АТ-технологии синтеза озона. [Текст] / С. Байг, Г. Вещи // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 4. – С. 21–23.

[27] Буторина, А.В. Создание генератора озона с поверхностным зарядом для обеспечения жизнедеятельности социально значимых объектов. [Текст] / А.В. Буторина [и др.] // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана, Специальный выпуск № 1 «Холодильная и

криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения». – 2013. – С. 9–16.

[28] Рогов, И.А. Электрофизические методы в холодильной технике и технологии / И.А. Рогов, Б.С. Бабакин, В.А. Выгодин. – Изда-во Колос, 1996. – 335 с.

[29] Корицкий, Ю.В. Справочник по электротехническим материалам / Ю.В. Корицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. – М.: Энергия, 1974. – 615с.

[30] Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов / Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, А.А. Устенко. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.

## References

[1] Vygodin V.A., Babakin S.B., Pleshanov S.A. Energy-saving methods in refrigeration technology and engineering (Energoberegayushchie metody v kholodil'noi tekhnologii i tekhnike). *Proizvodstvo i realizatsiya morozhenogo i bystrozamorozhennykh produktov*, 2001;(6):30–32 (in Russ.).

[2] Vygodin V.A. Energy-saving methods in refrigeration technology and engineering (Energoberegayushchie metody v kholodil'noi tekhnologii i tekhnike). *Kholodil'naya tekhnika*, 2001;(12):30–32 (in Russ.).

[3] Vygodin V.A. Savings of energy and material resources for refrigerating plants of Rosmyasomoltorg (Ekonomiya toplivno-energeticheskikh i material'nykh resursov na kholodil'nykh predpriyatiyakh Rosmyasomoltorga). *Kholodil'naya tekhnika*, 1984;(7):13–16 (in Russ.).

[4] Global'noe poteplenie: pozicija Mezhdunarodnogo instituta holoda. Kommjunkte Mezhdunarodnogo instituta holoda (МИН), *Kholodil'naya Tekhnika*, 2005;(4):47 (in Russ.).

[5] Arkharov A.M., Marfenina I.V., Mikulin E.I. Cryogenic system (Kriogennye sistemy) T.1. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1996; 575 p. (in Russ.).

[6] Arkharov A.M. The role of Cryology in the development of civilization (Rol' kriologii v razvitii tsivilizatsii). *Kholodil'naya tekhnika*, 2007;(2):2–5 (in Russ.).

[7] Alekseeva L.P., Draginskii V.L. Ozonation in natural water purification technology (Ozonirovanie v tekhnologii ochistki prirodnykh vod). *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2007;(4):42–44 (in Russ.).

[8] Il'ina E.A., Koval' V.V., Kozlova A.A. Sanitization of cooling chambers ozonation (Sanitarnaya obrabotka kholodil'nykh kamer ozonirovaniem). *Kholodil'naya tekhnika*, 1979;(8):56–57 (in Russ.).

[9] Karaffa-Korbut" V.V. Ozone and its application in industry and sanitation (Ozon i ego primenenie v promyshlennosti i sanitaria). SPb.: Obrazovanie Publ., 1912 (in Russ.).

[10] Krivopishin I.P. Ozone in poultry industry (Ozon v promyshlennom ptitsevodstve). Moscow: Rosagropromizdat Publ., 1998; 125 p. (in Russ.).

[11] Tarabakin D.A., Smorodin A.I., Butorina A.V., Ushakova M.V. Experimental study of the effect of ozone-



air mixture on mice scaring (Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya ozono-vozdushnoi smesi na otpugivanie myshei). *Nauchno-prakticheskii zhurnal po voprosam sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya, teorii i praktiki bor'by s vreditelyami "Pest-menedzhment" (RET-info)*, 2011;3(79):38–41 (in Russ.).

[12] Babakin B.S. Electrical engineering in the refrigeration industry (Elektrotekhnologiya v kholodil'noi promyshlennosti). Moscow: Agropromizdat Publ., 1990; 199 p. (in Russ.).

[13] Babakin B.S., Bovkun M.R., Chanturiya V.M. Promising technology and technology of refrigeration processing of meat and meat products (Perspektivnaya tekhnika n tekhnologiya kholodil'noi obrabotki myasa i myasoproduktov). Moscow: Informagrotekh Publ., 1991; 92 p. (in Russ.).

[14] Vlahovich S. Forecast of development of market of frozen semi-finished products (Prognoz razvitiya rynka zamorozhennykh polufabrikatov). *Imperiya kholoda*, 2009;(12):76–78 (in Russ.).

[15] Yusipovich D. Refrigeration facilities (Kholodil'nye sooruzheniya). *Imperiya kholoda*, 2010;(7):11–12 (in Russ.).

[16] Luzhkov Yu.M., Solomonov Yu.S., Karyagin N.V. et al. Organization of production of domestic ozone units of the new generation for centralized water supply systems (Organizatsiya proizvodstva otechestvennykh ozonatornykh ustanovok novogo pokoleniya dlya sistem tsentralizovannogo vodosnabzheniya). *Tr. VII simp. "Elektrotekhnika"*, 2010;4:24–26 (in Russ.).

[17] Solomonov Yu.S., Karyagin N.V., Smorodin A.I. et al. Domestic ozonator plant OU-25 (Otechestvennaya ozonatornaya ustanovka OU-25). *Polet*, 2004;(2):38–42 (in Russ.).

[18] Stepanyants V.G., Vereshchagin I.P., Sokolova M.V. State and prospects of ozone development (Sostoyanie i perspektivy razvitiya ozonatorostroeniya). *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 1993;(4):31–34 (in Russ.).

[19] Smorodin A.I. New generation high voltage ozone generator (Vysokovol'tnyi generator ozona novogo pokoleniya). *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*, 2003;(7):45–48 (in Russ.).

[20] Lunin V.V., Popovich M.P., Tkachenko S.N. Physical chemistry of ozone (Fizicheskaya khimiya ozona). Moscow: Izdatel'stvo MGU, 1998, 480 p. (in Russ.).

[21] Filippov Yu.V., Voblikova V.A., Panteleev V.I. The electrosynthesis of ozone (Elektrosintez ozona). Moscow: MGU Publ., 1987; 237 p. (in Russ.).

[22] Kondratenko R.O., Garskov R.V., Butorina A.V., Shcherbakov M.I., Nesterov S.B. Study of the temperature field on the surface of biological tissue and assessment of the amount of heat removed from it by

cooling with a thin film of boiling gas mixture for the needs of sports medicine (Issledovanie temperaturnogo polya na poverkhnosti biologicheskoi tkani i otsenka kolichestva otvodimogo ot nee tepla pri okhlazhdenii tonkoi plenki kipiyashchei gazovoi smesi dlya nuzhd sportivnoi meditsiny). *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina*, 2011;87(3):20–27 (in Russ.).

[23] Kondratenko R., Butorina A., Nesterov S. The study of the temperature field in the skin cover when ispersing gas mixtures to  $-35.5$ ;  $-25.0$ ;  $-15.0^{\circ}\text{C}$  temperature level for application in criomedicine and cryotherapy. *23st International Congress of Refrigeration, ICR 2011*, August 21–26, 2011, Prague, Czech Republic, p. 733–739 (in Eng.).

[24] Smorodin A.I., Tarabakin D.A., Butorina A.V. Possibilities of application of ozone technologies in the field of drinking water supply (Vozmozhnosti primeneniya ozonovykh tekhnologii v oblasti pit'evogo vodosnabzheniya). *Nauchnaya mysl'*, 2017;2(4):80–83 (in Russ.).

[25] Babakin B.S., Voronin M.I. Electrophysical methods in refrigeration and technology (Elektrofizicheskie metody v kholodil'noi tekhnike i tekhnologii). *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, prokhodivshaya v ramkakh vystavki "KholodEkspo Rossiya-2009"*, Moscow, 2009, p. 39–41 (in Russ.).

[26] Baig S., Vetstsi G. Improvement of at-technology of ozone synthesis (Sovershenstvovanie AT-tekhnologii sinteza ozona). *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2007;(4):21–23 (in Russ.).

[27] Butorina A.V., Smorodin A.I., Borzenko E.I., Tarabakin D.A., Zaitsev A.V., Tarabakina A.A. Creation of an ozone generator with a surface charge to ensure the life of socially significant objects (Sozдание generatora ozona s poverkhnostnym zaryadom dlya obespecheniya zhiznedeyatel'nosti sotsial'no znachimykh ob'ektov). *Vestnik MGTU imeni N.E.Baumana, Spetsial'nyi vypusk № 1 "Kholodil'naya i kriogennaya tekhnika, sistemy konditsionirovaniya i zhizneobespecheniya"*, 2013, p. 9–16 (in Russ.).

[28] Rogov I.A., Babakin B.S., Vygodin V.A. Electrophysical methods in refrigeration and technology (Elektrofizicheskie metody v kholodil'noi tekhnike i tekhnologii). Moscow: izdatel'stvo Kolos, 1996; 335 p. (in Russ.).

[29] Koritskii Yu.V., Pasyukov V.V., Tareev B.M. Handbook of electrical materials (Spravochnik po elektrotekhnicheskim materialam). Moscow: Energiya Publ., 1974; 615 p. (in Russ.).

[30] Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. Technology of thermal insulation materials (Tekhnologiya teploizolyatsionnykh materialov). Moscow: Stroizdat Publ., 1980; 399 p. (in Russ.).

Транслитерация по BSI