

Научная статья

УДК 697.947:621.314.21.015.38

DOI 10.48012/1817-5457_2026_1_174-180

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТРАНСФОРМАТОР – ОЗОНАТОР ВОЗДУХА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЕЕ РАБОТЫ

Сторчевой Владимир Федорович^{1✉}, Сторчевой Александр Владимирович²,
Уманский Петр Михайлович³, Тимашева Дильбар Даяновна⁴

^{1,4}Московский авиационный институт, Москва, Россия

²Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

³ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

¹V_Storchevoy@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты моделирования переходных электрических режимов и составляющих их процессов, происходящих в системе трансформатор-озонатор воздуха. Рассмотрены вопросы влияния перенапряжения в системе трансформатор-озонатор воздуха на безопасность ее работы. Приведены схемы замещения генератора озона (коронного и барьерного разрядов). Полученные результаты моделирования переходных электрических режимов позволяют определить безопасность работы системы трансформатор-озонатор воздуха, избегая перенапряжения в системе трансформатор-озонатор воздуха (в момент коммутации данной системы, при автоматическом включении и выключении по заданной программе), что влечет выход из строя трансформатора (пробой обмоток трансформатора либо диэлектрика на обкладках барьерного озонатора и необеспечение требуемой концентрации озона в помещениях). Определены: режимы работы системы; процессы образования озона и ионов в разрядном промежутке, стабильная работа системы при ее эксплуатации в производственных условиях. Показано, что экспериментальные и моделируемые значения тока и напряжения находятся в согласии только при рассмотрении генератора озона как нелинейного активно-емкостного сопротивления, что позволяет избежать аварийных режимов в момент автоматической коммутации системы.

Ключевые слова: переходные и установившиеся электрические процессы, система трансформатор-озонатор воздуха, эквивалентная схема замещения, трансформатор-озонатор воздуха, автоматическая коммутация системы.

Для цитирования: Исследование влияния перенапряжения в системе трансформатор-озонатор воздуха на безопасность ее работы / В. Ф. Сторчевой, А. В. Сторчевой, П. М. Уманский, Д. Д. Тимашева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 1(85). С. 174-180. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_1_174-180.

Актуальность. Исследования, проведенные рядом авторов по применению озонирования и ионизации воздуха в закрытых помещениях [1, 2, 9, 13, 15], показали необходимость получения требуемой концентрации озона в помещении, которая не должна превышать предельную допустимую концентрацию озона 0,1 мг/м³ в области жизнедеятельности человека и биологических объектов, а также обеспечивать безаварийную работу оборудования, создаваемую эту концентрацию [3, 6, 12, 14]. В процессе эксплуатации системы трансформатор-озонатор воздуха, обеспечивающей улучшение требуемого микроклимата в помещениях, возникают сложные переходные и установившиеся процессы, которые могут привести систему к аварийным режимам работы. [5, 10, 16]. К основным задачам исследования данной проблемы относят-

ся: получение математической модели системы трансформатор-озонатор воздуха, позволяющей провести расчет переходных и установившихся процессов (изменение напряжения и силы тока во времени), и определение рабочих и аварийных режимов работы.

Цель исследования – установить стационарные и аварийные режимы работы системы трансформатор-озонатор воздуха.

Материал и методы. Для исследования влияния перенапряжения в системе трансформатор-озонатор воздуха были приняты установки для сельскохозяйственных помещений [8-10]. В данных установках используется модуль автоматической коммутации системы по заданной программе для системы трансформатор-озонатор воздуха, который срабатывает при достижении требуемой концентрации озона. Основными

элементами системы трансформатор-озонатор воздуха являются источник питания (повышающий трансформатор, на вторичной обмотке которого напряжение регулируется до 30 кВ), блока управления, позволяющего по заданной программе автоматически коммутировать систему для создания требуемой концентрации озона в помещении и генератора озона (коронно-разрядная система либо барьерная разрядная система).

Исследования стационарных и аварийных режимов работы системы трансформатор-озонатор воздуха проводили экспериментально и путем моделирования изменений токов, напряжений и мощностей во времени при соблюдении характеристик номинальных режимов.

В методику исследований стабильных режимов работы системы трансформатор-озонатор воздуха заложены классические методы расчета переходных и установившихся процессов (изменение напряжения и силы тока во времени) и определение рабочих и аварийных режимов работы [7, 8, 17].

Рабочие режимы системы трансформатор-озонатор воздуха можно представить в виде параметров системы O_C ($O_C = X_L, X_C, R$) и параметров процессов $O_{\text{пр}}$ ($O_{\text{пр}} = I, U$).

O_C могут рассматриваться как линейные $O_C = \text{const}$ и $O_{\text{пр}}$ нелинейные $O_C = f(O_{\text{пр}1}, \dots, O_{\text{пр}n})$ то есть вероятностно-детерминированные.

Переходные и установившиеся процессы определяются уравнениями:

$$g = (O_{\text{пр}}, \dots, O_C, \dots) = 0. \quad (1)$$

$$dO_{\text{пр}}/dt = q(O_{\text{пр}}, \dots, O_C). \quad (2)$$

Источником питания является высоковольтный трансформатор, который представляется в виде схемы замещения, состоящей из индуктивности L_k и активного сопротивления R_k , при этом учитывается индуктивное и активное сопротивление дросселя, а также индуктивность и активное сопротивление короткого замыкания трансформатора.

На рисунке 1 (а, б) представлены схемы замещения трансформатор-озонатор воздуха, позволяющие решать поставленные задачи. Источником питания является высоковольтный трансформатор, который представляется в виде схемы замещения, состоящей из индуктивности L_k и активного сопротивления R_k , при этом учитывается индуктивное и активное сопротивление дросселя, а также индуктивность и активное сопротивление короткого замыка-

ния трансформатора. Озонатор воздуха коронной и барьерной электродных систем [4, 11, 18] можно представить в виде эквивалентных схем замещения, выбор которых определяется лишь удобством математического моделирования (см. рис. 1). Эти схемы справедливы при условии, что напряжение на разрядном промежутке во время разряда остается постоянным. Следовательно, напряжение в разрядном промежутке можно представить схемой замещения из двух эдс $\pm U$ В или в виде двух диодов $VD1$ и $VD2$, которые в зависимости от полярности приложенного напряжения позволяют поддерживать на конденсаторе постоянное напряжение. Диод $VD3$ выключается последовательно с разрядной камерой озонатора, имеющего нелинейное сопротивление R и разрядную камеру $V0$, позволяет снизить импульсы в разрядной камере и получить на выходе стабильную концентрацию озона.

Решением представленной схемы (рис. 1а) являются следующие уравнения:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 \underline{I}_1 + jX_{1L} \underline{I}_1,$$

$$\underline{U}'_2 = \underline{E}'_2 - R'_2 \underline{I}'_2 - jX'_{2L} \underline{I}'_2, \quad (3)$$

где R_1, X_{1L} – активное и реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора;

R'_2, X'_{2L} – приведенные активные и реактивные сопротивления и сопротивление вторичной обмотки трансформатора;

В системе трансформатор-озонатор воздуха ток определяем как сумму тока холостого хода трансформатора I_{1x} и тока вторичной обмотки трансформатора I'_2 :

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{1x} + \underline{I}'_2 \quad (4)$$

Потери мощности в стали в магнитопроводе определяются уравнением:

$$R_0 \underline{I}_{1x}^2 = \Delta P_{cm}. \quad (5)$$

Комплексное сопротивление в ветви холостого хода рассчитаем по уравнению:

$$\underline{Z}_0 = \underline{R}_0 + j\underline{X}_0, \quad (6)$$

где R_0, X_0 – активное и реактивное сопротивление холостого хода трансформатора.

Пользуясь схемой замещения (рис. 1б), рассчитаем активное и реактивное сопротивления короткого замыкания:

$$R_k = R_1 + R'_2,$$

$$\underline{X}_k = X_{1L} + X'_{2L}. \quad (7)$$

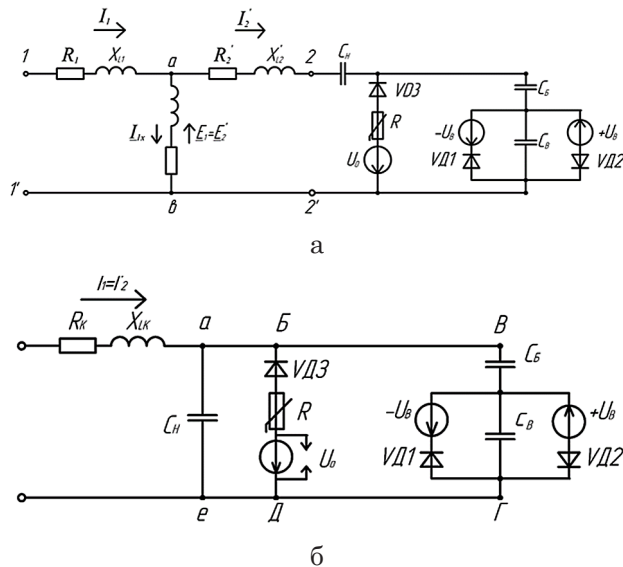


Рисунок 1 – Схемы замещения озонатора в системе трансформатор-озонатор воздуха

На рисунке 1а представлена схема замещения трансформатора: R_1, X_{L1} – активное и реактивное сопротивление рассеяния первичной обмотки, R_2, X_{L2} – приведенные активное и реактивное сопротивление рассеяния вторичной обмотки, I_{1X} – ток в ветви холостого хода (учитывает мощность эквивалентных потерь в магнитопроводе); схема замещения воздушного озонатора 2-2': ветвь VD3, R, U_0 – коронного разряда озонатора воздуха; ветвь C_б, C_в, $\pm U_в$, VD1, VD2 – барьерного разряда озонатора воздуха.

На рисунке 1б изображена схема замещения трансформатора, в котором пренебрегаем током холостого хода (I_{1X}) из-за его малости: R_k, X_{LK} – схема замещения воздушного озонатора контур БВГД: ветвь VD3, R, U_0 – коронного разряда озонатора воздуха; ветвь C_б, C_в, $\pm U_в$, VD1, VD2 – барьерного разряда озонатора воздуха.

В системе трансформатор-озонатор воздуха принимаем озонатор как нелинейное активно-емкостное сопротивление. Для упрощения расчетов переходных и установившихся процессов пренебрегаем нелинейными свойствами озонатора, что не снизит надежность и эксплуатацию системы трансформатор-озонатор воздуха.

Исследуем два режима работы системы трансформатор-озонатор воздуха.

Первый режим работы – включение установки, на озонаторе до включения нет потенциала (конденсатор не заряжен) ($t = 0; I_k = 0; U_c = 0$), второй режим работы – в момент отключения озонатор имеет заряд ($t = 0; I_{уст} = 0; U_{уст} = E_m$).

Представим уравнениями режимы работы системы:

$$Ri + L \frac{di}{dt} + u = U_m. \tag{8}$$

$$i = C \frac{du_c}{dt}. \tag{9}$$

В результате вставки (9) в (8) получим:

$$RC \frac{du_c}{dt} + LC \frac{d^2u_c}{dt^2} + u_c = U_m. \tag{10}$$

Данное уравнение (10) имеет решение:

$$u_c = u_{уст} + u_{св} = k_1 e^{p_1 t} + k_2 e^{p_2 t}, \tag{11}$$

где $u_{уст}$ – установившееся напряжение на озонаторе;

$u_{св}$ – свободная составляющая напряжения на озонаторе.

Решение уравнения (10) имеет вид:

$$LCp^2 + RCp + 1 = 0. \tag{12}$$

Корни уравнения (12) определяются:

$$p_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}. \tag{13}$$

Первый режим работы: ток в катушке всегда был равен току зарядки на озонаторе:

$$i = C \frac{du}{dt} = k_1 p_1 C e^{p_1 t} + k_2 p_2 C e^{p_2 t}. \tag{14}$$

Если подставить начальные условия в уравнения (11) и (13), получим следующие выражения:

$$0 = k_1 + k_2 + E_0 \Rightarrow k_1 = \frac{E_0 p_2}{p_1 - p_2},$$

$$0 = k_1 p_1 + k_2 p_2 \Rightarrow k_2 = -\frac{E_0 p_1}{p_1 - p_2},$$

тогда:

$$\begin{cases} u = E_0 \left(1 + \frac{p_2 e^{p_1 t} - p_1 e^{p_2 t}}{p_1 - p_2} \right) \\ i = E_0 \frac{p_1 p_2 C (e^{p_1 t} - e^{p_2 t})}{p_1 - p_2} \end{cases} \tag{15}$$

Если при решении уравнения (13), корни уравнения вещественные, то характер процесса работы системы изменяется по периодическому закону, если корни уравнения комплексные, то процесс работы системы трансформатор-озонатор воздуха, будет изменяться по аperiodическому закону:

$$p_1 = \frac{1}{\tau} + j\omega_0; p_2 = \frac{1}{\tau} - j\omega_0;$$

$$\left(\frac{R}{2L}\right)^2 < \frac{1}{LC},$$

тогда

$$p_1 = \frac{1}{\tau} + j\omega_0; p_2 = \frac{1}{\tau} - j\omega_0. \quad (16)$$

При этом

$$\tau = \frac{2L}{R}, \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}. \quad (17)$$

Решая совместно уравнения (16) и (15), можем рассчитать напряжение и ток следующим образом:

$$\begin{cases} u = E_0 \left[1 - e^{-t/\tau} \left(\cos \omega_0 t + \frac{\sin \omega_0 t}{\tau \omega_0} \right) \right], \\ i = E_0 \frac{e^{-t/\tau} \sin \omega_0 t}{\omega_0 L}. \end{cases} \quad (18)$$

Система уравнений (18) позволяет определить напряжение и ток на озонаторе для первого режима работы системы, что соответствует графикам 1 и 2 (рис. 2). Если допустить, что активное сопротивление очень мало, то напряжение и ток можно определить следующими формулами:

$$\begin{cases} u = E_0 (1 - e^{-t/\tau} \cos \omega_0 t), \\ i = E_0 \sqrt{C/L} e^{-t/\tau} \sin \omega_0 t. \end{cases} \quad (19)$$

На рисунке 2 значение напряжения на озонаторе имеет почти удвоенное значение E_0 , при этом значение максимального тока $I_{\max} = E_0 \sqrt{C/L}$.

График 3 (рис. 2) определяется системой уравнений:

$$\begin{cases} u = E_0 \left(1 - e^{-t/\tau} - \frac{t e^{-t/\tau}}{\tau} \right), \\ i = E_0 \frac{2 t e^{-t/\tau}}{R \tau}. \end{cases} \quad (20)$$

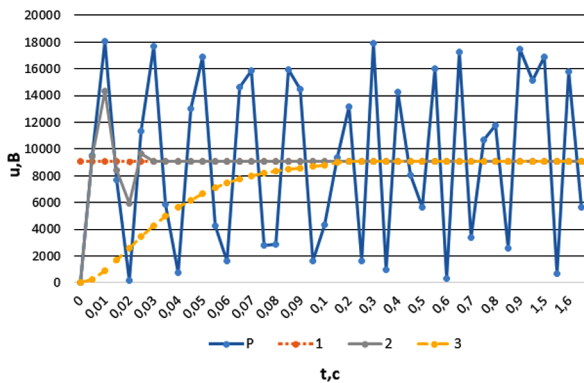


Рисунок 2 – Напряжения на озонаторе при различных режимах работы системы трансформатор-озонатор: р – напряжение в разрядном промежутке озонатора воздуха, напряжение на конденсаторе: при включении системы (кривые): 1 – напряжение на озонаторе (ток в катушке равен току зарядки на озонаторе); 2 – напряжение на озонаторе достигает почти удвоенного значения напряжения источника E_0 ; 3 – напряжение на озонаторе изменяется плавно, достигая требуемого значения)

Второй режим работы – в момент отключения озонатор имеет заряд ($t = 0; I_{\text{уст}} = 0; U_{\text{уст}} = E_m$), решениями уравнения (10) являются:

$$\begin{cases} u = u_{\text{уст}} + k_1 e^{p_1 t} + k_2 e^{p_2 t}, \\ i = i_{\text{уст}} + k_1 C p_1 e^{p_1 t} + k_2 C p_2 e^{p_2 t}. \end{cases} \quad (21)$$

где $u_{\text{уст}} = E_m; i_{\text{уст}} = 0$.

Если ($t = 0$) $u = 0; i = I_0$, то

$$0 = E_0 + k_1 + k_2 \Rightarrow k_1 = \frac{E_0 p_2 + \frac{I_0}{C}}{p_1 - p_2},$$

$$I_0 = k_1 C p_1 + k_2 C p_2 \Rightarrow k_2 = -\frac{E_0 p_1 + \frac{I_0}{C}}{p_1 - p_2}.$$

Если процесс колебательный, то

$$u = E_0 \left[1 - e^{-t/\tau} \left(\cos \omega_0 t + \frac{\sin \omega_0 t}{\omega_0 \tau} \right) \right] + I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} e^{-t/\tau} \sin \omega_0 t. \quad (22)$$

Если активное сопротивление меньше колебательного процесса системы, то напряжение и ток можно определить:

$$u = E_0 (1 - e^{-t/\tau} \cos \omega_0 t) + I_0 \sqrt{L/C} e^{-t/\tau} \sin \omega_0 t, \quad (23)$$

$$i = E_0 \sqrt{C/L} e^{-t/\tau} \sin \omega_0 t + I_0 e^{-t/\tau} \cos \omega_0 t. \quad (24)$$

Если активное сопротивление намного меньше колебательного процесса системы, то напряжение на конденсаторе может значительно превысить напряжение E_0 и система выйдет из строя.

Максимальное значение напряжения на озонаторе определяется:

$$U_{\max C} = I_0 \sqrt{L/C} = \frac{E_0}{R} \sqrt{L/C}. \quad (25)$$

В таблице 1 представлены расчетные значения изменения напряжения и тока на озонаторе, которые имеют затухающие значения и хорошо сочетаются с экспериментальными значениями.

Таблица 1 – Напряжение и ток для второго режима работы системы

t, с	0	0,0013	0,0034	0,0057	0,0076	0,0107
U, В	0	19781	12051	9144	9074	9051
I, x 10 ⁻⁴ А	0	4,6	1,6	0,12	-0,21	-0,09
E ₀ , В	9051	9051	9051	9051	9051	9051

Результаты исследования и обсуждение. В результате проведенных нами исследований

и с учетом исследований ряда авторов, приведенных выше [8, 12, 17], необходимо использовать допущения и требования, предъявляемые при проектировании, изготовлении и эксплуатации систем озонирования трансформатор-озонатор воздуха в производственных и бытовых помещениях:

– рабочие и аварийные режимы работы системы трансформатор-озонатор определяются уравнениями (1) и (2) для решения которых предложены схемы замещения трансформатор-озонатор (рис. 1), позволяющие решать поставленные задачи. Уравнения (3)-(6) являются решением схемы (рис. 1а), а уравнение (7) позволяет рассчитать активное и реактивное сопротивление короткого замыкания (рис. 1б);

– определение переходных и установившихся процессов в системе трансформатор-озонатор воздуха осуществляется путем решения системы уравнений (10), позволяющей оценить режимы работы системы, объяснить процессы образования озона в озонаторе и определить безаварийные режимы работы системы трансформатор-озонатор воздуха.

Переходные и установившиеся процессы в системе трансформатор-озонатор возникают при двух режимах работы:

– первый режим работы уравнения (15) – включение установки, на озонаторе до включения нет потенциала: из системы уравнений (18) учитывая допущение, что если активное сопротивление очень мало, то напряжение и ток можно определять по формулам (19), расчетные значения представлены на графике 2 (рис. 2);

– второй режим работы уравнения (21) – в момент отключения озонатор имеет заряд, учитывается ряд допущений: если активное сопротивление меньше колебательного процесса системы формула (25), то система может выйти из строя пробой диэлектрика озонатора либо пробой изоляции обмоток трансформатора.

Выводы. В результате проведенных исследований переходных и установившихся процессов (изменение напряжения и силы тока во времени) системы трансформатор-озонатор воздуха для производственных и бытовых помещений определена математическая модель системы трансформатор-озонатор воздуха в виде уравнения (10), решение которого позволяет определить стационарные режимы работы системы трансформатор-озонатор воздуха через решения систем уравнений (15) и (21); расчетные значе-

ния первого режима работы приведены на графиках (рис. 2): график 1 и 2 – напряжение и ток на озонаторе, график 3 – максимальные значения напряжения и тока на озонаторе; экспериментальные и расчетные значения второго режима работы приведены в таблице 1. Проведенные исследования второго режима работы позволяют выявить стабильную работу системы и избежать аварийных режимов работы, получать требуемую концентрацию озона в производственных и бытовых помещениях.

Список источников

1. Алексеев В. А., Колосов С. П. Применение озонаторов в различных отраслях народного хозяйства с целью улучшения экологии и состояния здоровья людей // *Агробизнес: экономика – оборудование – технологии*. 2019. № 12. С. 74–63.
2. Влияние параметров озонирования на грибковые заболевания пчелиных семей / С. В. Оськин [и др.] // *Сельский механизатор*. 2025. № 1. С. 26-28. DOI: 10.47336/0131-7393-2025-1-26-27-28.
3. Исследование влияния неоднородности разрядного промежутка на параметры генератора озона / Н. Ю. Лысов [и др.] // *Электричество*, 2024. № 11. С. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2024-11-36-42>.
4. Ксенз Н. В., Сидорцов И. Г. Распространение озона в воздушной среде замкнутого помещения // *Актуальные аспекты развития логистических коммуникаций. Российско-армянский логистический форум: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2023*. С. 133-138. ID: 50375125. EDN: AJREPX.
5. Мануйленко А. Н., Вендин С. В. Конструкция электрического озонатора для обеззараживания воздушных масс в животноводческом помещении // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2022. № 3 (35). С. 64-71. EDN: APOYPI.
6. Модернизация озонатора для обработки пчелиных ульев / С. В. Оськин [и др.] // *Сельский механизатор*. 2024. № 12. С. 32-33. DOI: 10.47336/0131-7393-2024-12-32-33.
7. Оценка влияния неравномерности газового зазора на характеристики объемного барьерного разряда / Н. Ю. Лысов [и др.] // *Электричество*. 2020. № 4. С. 25–34. DOI: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2020-4-25-34>
8. Сторчевой В. Ф. Ионизация и озонирование воздушной среды: моногр. Москва, 2003. 175 с. ID:19504976 EDN: QKVNDV.
9. Сторчевой В. Ф., Компаниец А. Е. Применение озонатора-ионизатора на молочных фермах: докл. ТСХА. 2019. С. 294-296. ID: 37419288 EDN: ZFBZVB.
10. Сторчевой В. Ф., Судник Ю. А., Мануйленко А. Н. Электрический озонатор-излучатель воздуха для сельскохозяйственных помещений: результаты исследований автономного модуля. Агро-

инженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 66-73. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-66-73>.

11. Теоретические основы электротехники / К. С. Демирчян [и др.]. Санкт-Петербург: Питер, 2003. 576 с.

12. Теория и практика получения и применения озона: моногр. / В. В. Лунин [и др.]. Москва: Московский ун-т, 2016. 432 с.

13. Технологии очистки озоном / М. А. Афанасьев [и др.] // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: 80-я науч.-практ. конф., Ставрополь, 9 марта - 29 мая 2015 г. Ставрополь: АГРУС, 2015. Т. 1. С. 32-37. EDN: UWKRUZ.

14. Электроозонная технология очистки навозных стоков: реализация математической модели / Д. А. Нормов [и др.] // Агроинженерия. 2024. Т. 26. № 5. С. 74-82. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-74-82>.

15. Юферев Л. Ю., Селезнева Д. М. Испытания комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в птичнике // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 3. С. 45-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-45-50>.

16. Jin Sh. [et al.]. A non-Equal Gap Distance Dielectric Barrier Discharge: Between Cone-Shape and Cylinder-Shape Electrodes. High Voltage. 2021; 7(2). DOI: 10.1049/hve2.12126.

17. Lysov N. Y. [et al.]. The effect of discharge gap nonuniformity on the energy characteristics of a barrier ozone generator. Russian Electrical Engineering. 2021; 92(8): 463-467. ID: 46503693, EDN: JQGBUW.

18. Vendin S., Manuylenko A., Strakhov V. Results of research on development of electric air ozonizer for livestock rooms. E3S Web of Conferences. 2023: 411-418. DOI:10.1051/e3sconf/202341102018.

19. Zhi Yu L. [et al.]. A Non-Equal Gap Distance Dielectric Barrier Discharge: between a Wedge-Shaped and a Plane-Shaped Electrode. Plasma Sources Science and Technology. 2021; 30(6). DOI:10.1088/1361-6595/ac02b1.12.

References

1. Alekseev V. A., Kolosov S. P. Primenenie ozonatorov v razlichnyx otraslyax narodnogo khozyajstva s cel'yu uluchsheniya e'kologii i sostoyaniya zdorov'ya lyudej // Agrobiznes: e'konomika – oborudovanie – texnologii. 2019. № 12. С. 74–63.

2. Vliyanie parametrov ozonirovaniya na gribovye zabolevaniya pchelinyx semej / S. V. Os'kin [i dr.] // Sel'skij mexanizator. 2025. № 1. С. 26-28. DOI: 10.47336/0131-7393-2025-1-26-27-28.

3. Issledovanie vliyaniya neodnorodnosti razryadnogo promezhutka na parametry generatora ozona / N. Yu. Ly'sov [i dr.] // E'lektrichestvo, 2024. № 11. С. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2024-11-36-42>.

4. Ksenz N. V., Sidorcov I. G. Rasprostranenie ozona v vozduшной среде замкнутого помещения // Актуальные аспекты развития логистических коммуникаций. Российско-армянский логистический форум: материалы Междунар.

nauch.-prakt. konf. Rostov-na-Donu, 2023. С. 133-138. ID: 50375125. EDN: AJREPX.

5. Manujlenko A. N., Vendin S. V. Konstrukciya e'lektricheskogo ozonatora dlya obezrazhivaniya vozdušnyx mass v zhivotnovodcheskom pomeshhenii // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. 2022. № 3 (35). С. 64-71. EDN: APOYPI.

6. Modernizaciya ozonatora dlya obrabotki pchelinyx ul'ev / S. V. Os'kin [i dr.] // Sel'skij mexanizator. 2024. № 12. С. 32-33. DOI: 10.47336/0131-7393-2024-12-32-33.

7. Ocenka vliyaniya neravnomernosti gazovogo zazora na xarakteristiki ob'emnogo bar'ernogo razryada / N. Yu. Ly'sov [i dr.] // E'lektrichestvo. 2020. № 4. С. 25–34. DOI: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2020-4-25-34>

8. Storchevoj V. F. Ionizaciya i ozonirovanie vozdušnoj sredy: monogr. Moskva, 2003. 175 s. ID:19504976 EDN: QKVNDV.

9. Storchevoj V. F., Kompaniecz A. E. Primenenie ozonatora-ionizatora na molochnyx fermax: dokl. TSSA. 2019. С. 294-296. ID: 37419288 EDN: ZFBZVB.

10. Storchevoj V. F., Sudnik Yu. A., Manujlenko A. N. E'lektricheskij ozonator-izluchatel' vozduxa dlya sel'skoxozyajstvennyx pomeshhenij: rezul'taty issledovaniy avtonomnogo modulya. Agroiñzheneriya. 2024. Т. 26, № 5. С. 66-73. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-66-73>.

11. Теоретические основы электротехники / К. С. Демирчян [и др.]. Санкт-Петербург: Питер, 2003, 576 с.

12. Teoriya i praktika polucheniya i primeneniya ozona: monogr. / V. V. Lunin [i dr.]. Moskva: Moskovskij un-t, 2016. 432 s.

13. Texnologii ochistki ozonom / M. A. Afanas'ev [i dr.] // Metody i texnicheskie sredstva pov'sheniya e'ffektivnosti ispol'zovaniya e'lektricheskogo oborudovaniya v promyšlennosti i sel'skom khozyajstve: 80-ya nauch.-prakt. konf., Stavropol', 9 marta - 29 maya 2015 g. Stavropol': AGRUS, 2015. Т. 1. С. 32-37. EDN: UWKRUZ

14. E'lektroozonnaya texnologiya ochistki navoznyx stokov: realizaciya matematicheskoy modeli / D. A. Normov [i dr.] // Agroiñzheneriya. 2024. Т. 26. № 5. С. 74-82. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-74-82>

15. Yuferev L. Yu., Selezneva D. M. Ispytaniya kombinirovannoj e'lektroustanovki dlya obespylivaniya i obezrazhivaniya vozduxa v ptichnike // Agroiñzheneriya. 2022. Т. 24, № 3. С. 45-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-45-50>.

16. Jin Sh. [et al.]. A non-Equal Gap Distance Dielectric Barrier Discharge: Between Cone-Shape and Cylinder-Shape Electrodes. High Voltage. 2021; 7(2).DOI: 10.1049/hve2.12126.

17. Lysov N. Y. [et al.]. The effect of discharge gap nonuniformity on the energy characteristics of a barrier ozone generator. Russian Electrical Engineering. 2021; 92(8): 463-467. ID: 46503693, EDN: JQGBUW.

18. Vendin S., Manuylenko A., Strakhov V. Results of research on development of electric air ozonizer for livestock rooms. E3S Web of Conferences. 2023: 411- 418. DOI:10.1051/e3sconf/202341102018.

19. Zhi Yu L. [et al.]. A Non-Equal Gap Distance Dielectric Barrier Discharge: between a Wedge-Shaped and a Plane-Shaped Electrode. *Plasma Sources Science and Technology*. 2021; 30(6). DOI:10.1088/1361-6595/ac02b1.12.

Сведения об авторах:

В. Ф. Сторчевой^{1✉}, доктор технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>;

А. В. Сторчевой², старший преподаватель, <https://orcid.org/0000-0003-3404-0361>;

П. М. Уманский³, кандидат технических наук, старший преподаватель, <https://orcid.org/0000-0001-8109-4026>;

Д. Д. Тимашева⁴, ассистент

^{1,4}Московский авиационный институт, 125993, Россия, Москва, Волоколамское ш., 4

²Российский биотехнологический университет, 125080, Россия, Москва, Волоколамское ш., 11

³ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 127434, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49

¹V_Storchevoy@mail.ru

Original article

RESEARCH ON THE EFFECT OF OVERVOLTAGE IN THE TRANSFORMER-AIR OZONIZER SYSTEM ON ITS SAFETY

Vladimir F. Storchevoy^{1✉}, Alexander V. Storchevoy², Peter M. Umansky³, Dilbar Timasheva⁴

^{1,4}Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

²Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹V_Storchevoy@mail.ru

Abstract. *The results of modeling transient electrical modes and their constituent processes occurring in the transformer–air ozonizer system are presented. The article explores how overvoltage affects the safety of a transformer–air ozonizer system. The ozone generator equivalent circuits (of corona and barrier discharge types) are provided. The obtained results of simulations of transient electrical modes provide the opportunity to determine the safety of the transformer–air ozonizer system, avoiding overvoltage in the transformer–air ozonizer system (during the system switching, during the programmed automatic on and off cycles). Such overvoltage could cause transformer failure, either through winding damage or dielectric breakdown on the barrier ozonizer plates, preventing the necessary ozone concentration in the rooms. The system operational modes, the processes of ozone and ion formation within the discharge gap, and stable performance of the system under production conditions were determined. It has been shown that the experimental and simulated values of current and voltage are in agreement only when the ozone generator is considered as nonlinear active-capacitive resistance. This prevents emergency modes during automatic system switching.*

Key words: *transient and steady-state electrical processes, transformer–air ozonizer system, equivalent circuit model of transformer–air ozonizer, automatic system switching.*

For citation: *Storchevoy V. F., Storchevoy A. V., Umansky P. M., Timasheva D. D. Research on the effect of overvoltage in the transformer–air ozonizer system on its safety. The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2026; 1 (85): 174-180. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_1_174-180.*

Authors:

V. F. Storchevoy^{1✉}, Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>;

A. V. Storchevoy², Senior Lecturer, <https://orcid.org/0000-0003-3404-0361>;

P. M. Umansky³, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, <https://orcid.org/0000-0001-8109-4026>;

D. D. Timasheva⁴, Assistant

^{1,4}Moscow Aviation Institute, 4 Volokolamskoe Shosse St., Moscow, Russia, 125993

²Russian Biotechnological University, 11 Volokolamskoe Shosse St., Moscow, Russia, 125080

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, Russia, 127434

¹V_Storchevoy@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.01.2026; одобрена после рецензирования 31.01.2026; принята к публикации 03.03.2026.

The article was submitted 13.01.2026; approved after reviewing 31.01.2026; accepted for publication 03.03.2026.