

материально-техническими и человеческими ресурсами предприятия, в отличие от АСУ П, каждая из которых разрабатывалась под конкретное предприятие, может использоваться на различных предприятиях.

Еще одним отличием ERP систем от систем АСУП является их «можеретарность», число выходов больше числа входов. И для управления такими сложными системами нужно вводить дополнительные управляющие воздействия – параметры, так как одних координат по которым происходит управление в системах АСУ П уже недостаточно.

#### Список литературы:

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. г.М.: СтандартИнфо,2009
2. ГОСТ 24.103-84 . Автоматизированные системы управления. Основные положения. г.М.:

Государственный комитет СССР по стандартам,1985

3. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. М.: Энергия, 1974.

4. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. М.: Наука, 1986

5. Поспелов Д.А. Большие системы. Ситуационное управление. М.: Знание, 1975.

6. Микита Р. М., Рогозов Р. М., Свиридов А. С., Стукотий Л. Н. Концепция построения информационной модели предприятия, 2005

7. ГОСТ 19675-74 Автоматизированные системы управления. Основные положения. Термины и определения г.М.: Государственный комитет СССР по стандартам,1980

8. Научные основы организации управления и построения АСУ / Под ред. В. Л. Бройдо, В. С. Крылова. - М.: Высшая школа, 2006.

9. Беккер Й., Вилков Л., Таратухин В., Кугелер, Роземанн Й.: Менеджмент процессов. – М.: «Эксмо»,2007

**Maikut S.A.**

*Post-graduate student, Assistant,  
Department of General and Solid State Physics  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

### ELECTRON KINETICS IN A CYLINDER SYSTEM WITH A PULSED MAGNETIC FIELD

**Майкут С. А.**

*Аспирант, ассистент кафедры  
общей физики и физики твердого тела  
КПИ им. Игоря Сикорского*

### КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОНОВ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

**Summary.** 3D modeling of vacuum arc suppression by a magnetic field in a high-voltage current interrupter with cylindrical electrodes is performed. The process parameters were calculated by the algorithm of the suggested physical topological model of the current interrupter. The parameters characterizing the vacuum arc quenching process (current interruptions) were statistically determined: the fraction of electrons whose trajectories were closed on the collectors, was calculated. The trajectory of the electrons was traced taking into account the effect of the electric field of the electrodes and the magnetic field on the external inductor. The effect of the space-charge field of electrons was not taken into account. The calculations are performed by a numerical finite element method. The influence of the magnetic field of an external inductor and the design of the electrodes of a current interrupter on the vacuum arc extinguishing process is investigated.

**Аннотация.** Произведено 3D моделирование процессов гашения вакуумной дуги магнитным полем в высоковольтном прерывателе тока с цилиндрическими электродами. Расчёт производился по алгоритму предложенной физико-топологической модели прерывателя тока. Параметры, определялись статистически: вычислялась доля электронов, траектории которых замыкались на коллекторах. Влияние поля объёмного заряда электронов не учитывалось. Расчёты выполнены методом конечных элементов.

#### ВВЕДЕНИЕ

Эффект отсечки электронов происходит в магнитном поле, ортогональном электрическому полю, и не позволяет электронам катода достигать анода [1, 2]. Он находит применение во многих вакуумных и плазменных устройствах: вакуумные магнетроны для микроволновой генерации, газовые магнетроны для генерации электронов и ионов, ионно-распыляющие магнетроны, манометрические преобразователи магнетронного

типа и газоразрядные коммутационные устройства и т. д. В некоторых устройствах этот эффект создает условия для генерации СВЧ-колебаний, заряженных частиц и плазмы. В других случаях он обеспечивает прерывание тока на анод в устройствах открывания или переключения тока с одного электрода на другой. Отсечка электронов используется на стадии после разряда в вакуумных дуговых прерывателях, когда электроны все еще эмитируются из горящих катодных пятен. На рис. 1

показан эффект отсечки в цилиндрической электродной системе.

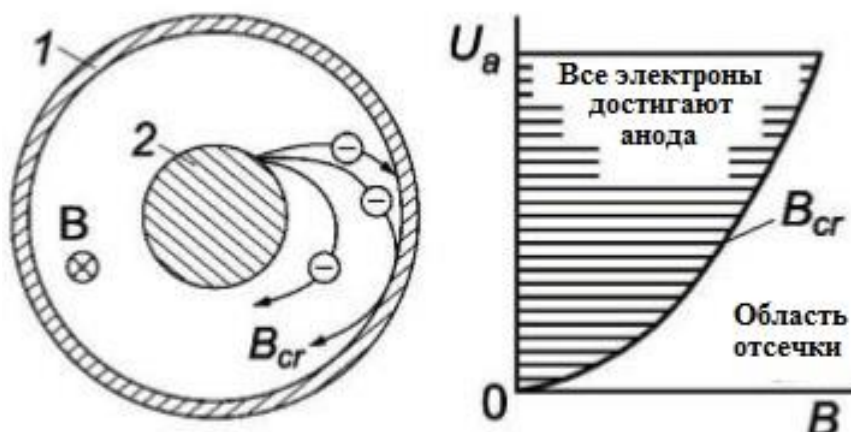


Рис. 1. Эффект отсечки электронов при : 1 – анод; 2 – катод; – анодное напряжение; – магнитная индукция

Случай отсечки электронов в однородных скрещенных полях рассмотрен в литературе [1, 2]. Однако на практике чаще всего используются неоднородные поля, и большой интерес представляет случай импульсного магнитного управления с внешним индуктором для прерывания или переключения тока в высоковольтных цепях постоянного тока. Результаты исследования отсечки электронов в плоском переключающем диоде, управляемом импульсным током плоского индуктора, представлены в [3].—Насколько нам известно, в литературе не было учтено влияние отсечки электронов в цилиндрических электродных системах из-за импульсного магнитного поля с учетом индукции вихревых токов в электродах и их вторичных магнитных полей. Таким образом, наша работа посвящена исследованию эффекта отсечки в таких системах с помощью компьютерного моделирования.

### 1. КОНФИГУРАЦИИ ИССЛЕДОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ

Для исследования было использовано несколько электродных систем различной конфигурации. Они изображены на рис. 2. Конфигурации электродов были выбраны с учетом применения полученных результатов в будущем к разработке высоковольтного размыкающего устройства (прерывателя тока) на базе вакуумной дуги.

Характерные размеры систем в миллиметрах определены на рис. 2, г. Материал электрода – медь. Катоды имеют небольшой диаметр (6 мм) и высоту  $h$  (10 мм) в соответствии с рекомендацией [4] для их использования в прерывателе тока. Однако катод системы на рис. 1, а также имеет  $h = H = 100$  мм с целью проверки расчетов (см. Этот катод изображен пунктирными линиями на рис. 1, а).

Минимальный диаметр анода напротив катодов составляет 30 мм. Все аноды имеют вертикальный разрез шириной 1 мм (слева на всех рисунках) для лучшего проникновения импульсного магнитного поля, генерируемого индукторами, через металлические аноды в зазоры «катод-анод». Предоставление анодов в системах, показанных на рис. 2, b, c, d, с внутренними выступами / выступами треугольного сечения, решает несколько задач: 1) концентрировать импульсное магнитное поле в зазорах «катод-анод»; такой подход, как известно, успешно работает в системах с импульсным магнитным полем [4-6]; 2) продлить ток анода во время дугового разряда по большей поверхности; 3) уменьшить часть поверхности анода, расположенную близко к катоду в порядке облегчения гашения вакуумной дуги.

Системы были смоделированы с кодом на база программного обеспечения Comsol Multiphysics аналогично к [3]. Код содержит части электрического и магнитного полей, а также вихревой наведенный ток на электродах с вторичными магнитными полями генерируемые им. Другая часть кода была используется для расчета траекторий электронов. Значение пространственного разряда было принято считать нулевым. Предполагалось, что катоды эмитируют электроны с синусоидальным распределением. Напряжение постоянного тока  $U_a$  между электродами было 10 кВ. Индуктор питается переменным током 44 кГц. В статье, режим работы определяется ампер-обмотками ( $A \cdot w$ ). Поскольку электроны катода достигают границы системы за несколько наносекунд, траектории были рассчитаны как для постоянного магнитного поля в максимум тока индуктора.

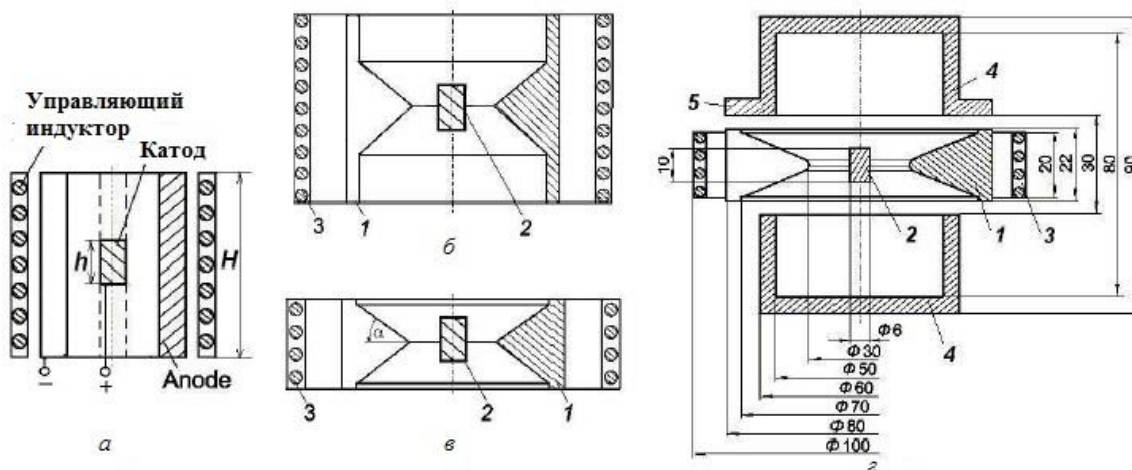


Рис. 2. Конфигурация исследуемых электродных систем: 1 - анод; 2 - катод; 3 - управляющий индуктор; 4 - электронные коллекторы; 5 - кольцевой карнизоподобный элемент

Система, показанная на рис. 2 а, была использована для верификации кода симуляции. Наши расчеты хорошо сходятся с теоретическим расчетом для однородного скрещенного поля.  $= 4,7$  мТл:  $= 4,9$  мТл для  $h = H = 100$  мм и  $= 5,0$  мТл для  $h = 6$  мм,  $H = 100$  мм. Здесь определяется как в [1]:

$$B_{cr.theor} = \sqrt{\frac{8m}{e}} U_a / R_a \left(1 - \frac{R_c^2}{R_a^2}\right)$$

где:  $m$  и  $e$  масса и заряд электрона,  $R_a$  – радиус анода,  $R_c$  – радиус катода

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ОБСУЖДЕНИЕ

Типичные траектории электронов в режиме отсечки и под разными углами излучения представлены на Рис. 3 для двух значений длины катода  $h$ . Черные точки показывают конец вычисленных траекторий.

В случае длинного катода отсечка приводит к возвращению всех электронов на катод. При коротком катоде многие электроны не возвращаются обратно. Более того, чем больше искажено электрическое поле от радиального около конца катода и чем больше угол эмиссии электронов, тем быстрее электроны уходят от катода (см. рис. 3, б, где траектории показывают, что электроны выбрасываются только радиально, возврат к катоду). Длина индуктора должно быть равна  $H$  или больше, чем  $H$  для полной отсечки электронов от катода, как показано на рис. 3. В противном случае анод может захватывать электроны в зонах с  $B < B_{cr}$ .

Траектории электронов в системе с концентрация магнитного поля, изображенные на рис. 2, б, в, отличаются от показанных на рис. 3б увеличенным радиусом вращения в нижней и верхней частях системы. Траектории в пространстве вниз и вверх относительно катода в системах, изображенных на рис. 2, б, в похожи как расширяющийся поток.

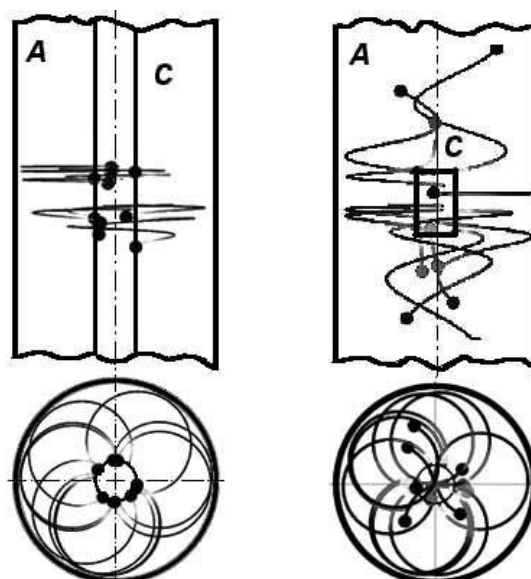


Рис. 3. Траектории электронов с длинным катодом,  $h = 100$  мм (а) и коротким катодом,  $h = 6$  мм (б), в режиме отсечки. Индуктор - 4 кА\*вит

Интересно рассмотреть изменение импульсного магнитного поля в зазоре между электродами, особенно в системах с концентрацией магнитного поля. Соответствующие расчеты были сделаны и представлены ниже. В системе, показанной на фиг. 2, а (или на фиг. 3), напряженность импульсного магнитного поля слабо изменяется между электродами и внутри анода в пространстве, удаленном от катода. Однако магнитное поле значительно варьируется в системах, показанных на рис. 2, б, с, d из-за изменения радиуса анода вдоль вертикальной оси. Пример такого изменения поля представлен на рис. 4 для системы, изображенной на рис. 2, в. В общем, магнитное поле, создаваемое вихревым током

анода, присутствует во всем пространстве вокруг анода.

Чтобы проверить возможность использования анодной конфигурации, показанной на рис. 2, б, но с коротким индуктором, мы рассчитали по траекториям электронов и получили результаты, представленные на рис. 5. Видно, что анод не захватывает электроны как в пространстве концентрации магнитного поля, так и в нижней и верхней частях анода. Последнее связано с большими внутренними диаметрами этих частей и если длина анода не слишком велика. Такое свойство этой конфигурации позволяет использовать нижнюю и верхнюю части анода в качестве перегородок для защиты индуктора от плазмы дугового разряда в прерывателях тока.

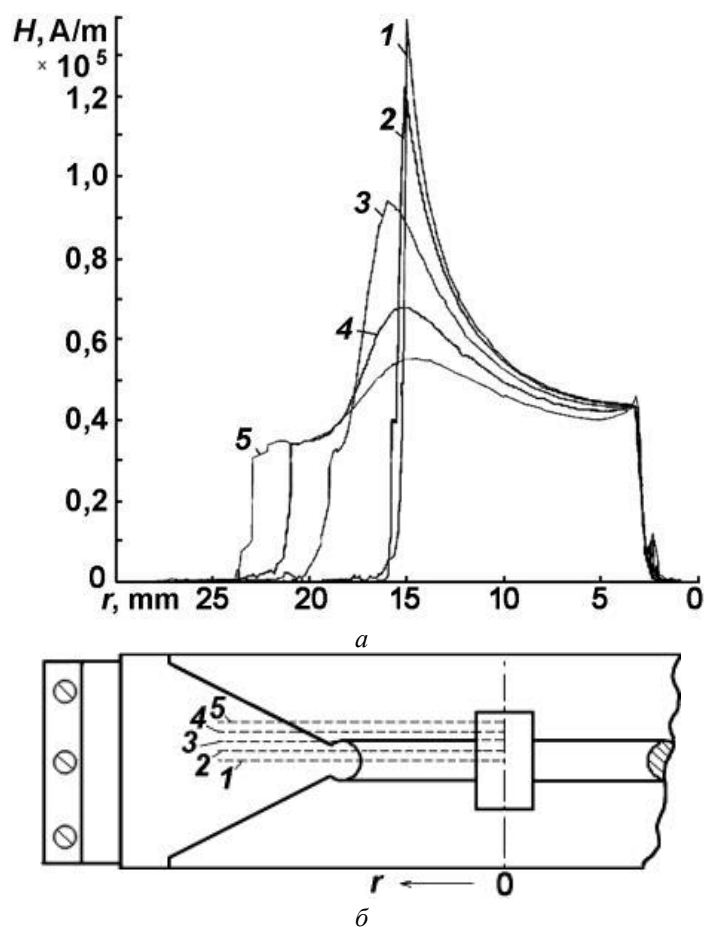


Рис. 4. Изменение напряженности импульсного магнитного поля в зазоре «катод-анод» на радиус  $r$  на разных высотах (в разных плоскостях) над средней плоскостью. Индуктор -  $2,2 \text{ kA} \cdot \text{вит}$

Чтобы исследовать влияние угла  $\alpha$  (см. Рис. 2, в) на максимальное отклонение электронов от вертикальной оси системы, траектория электронов была рассчитана при различных значениях  $\alpha$ . На рис. 6 показано изменение максимального радиального отклонения электронов вдоль

вертикальной оси для двух значений  $\alpha$ . Видно, что чем больше угол, тем меньше максимальное отклонение электронов. Это может быть связано с изменениями в распределении индуцированного магнитного поля вокруг анода.

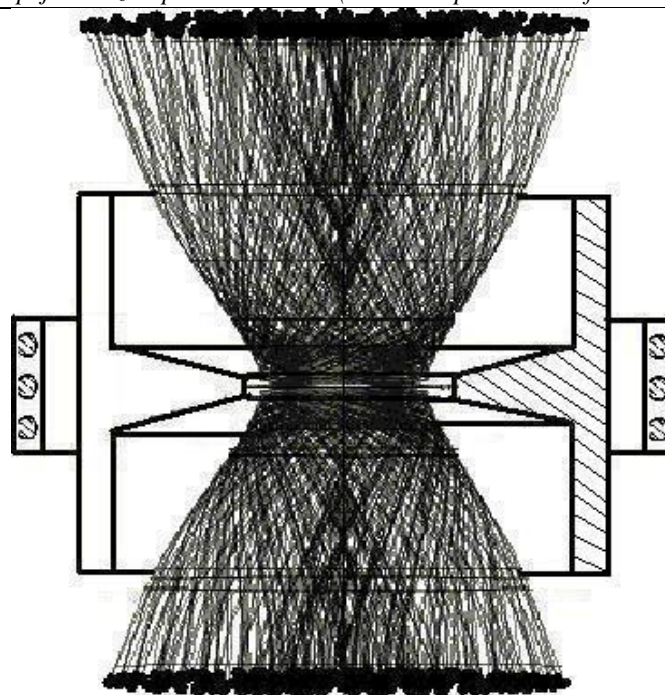


Рис. 5. Электронные траектории с длинным анодом ( $H = 40$  мм) и коротким индуктором (20 мм,  $2,8 \text{ кА} \cdot \text{вит}$ )

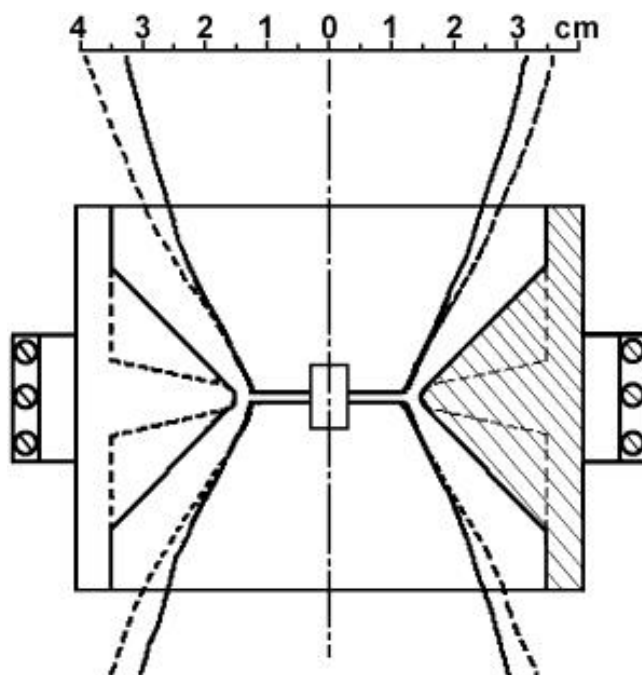


Рис. 6. Максимальное радиальное отклонение электронов для двух анодной конфигурации. Индуктор -  $2,8 \text{ кВ} \cdot \text{вит}$ ,  $B = 40$  мм

Из представленных выше данных можно сделать вывод, что реальный прерыватель тока должен быть снабжен вспомогательными электродами для сбора электронов, идущих вверх и вниз из зазора «катод-анод». В качестве варианта такого подхода была предложена конфигурация, изображенная на рис. 2, г. Моделирование траекторий электронов показало, что некоторая группа электронов может пройти через щель между

анодом и коллектором во внешнее пространство системы. Чтобы устранить утечку электронов, кольцевой плоский элемент, такой как карниз, был прикреплен к нижнему концу верхнего коллектора, и положительное постоянное напряжение  $U_c$  относительно катода было приложено к коллекторам. На рис. 7 представлены электронные траектории в системе с коллекторами.

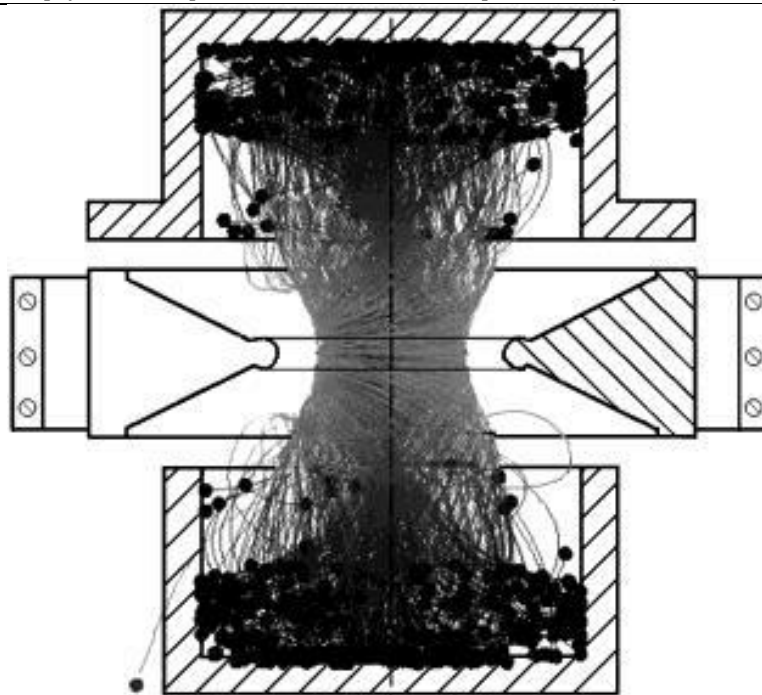


Рис. 7. Электронные траектории в системе с коллекторами.  $U_c = +300$  В.  
Индуктор - 5 кВ\*вит

Расчеты показали, что прикрепление кольцевого элемента к коллектору не сильно влияло на утечку электронов (это видно на рис. 7, где сравниваются траектории в верхней и нижней частях). Тем не менее, этот элемент может быть полезен для защиты индуктора от плазмы дугового разряда в прерывателях тока. На рис. 8 показаны зависимости относительной утечки электронов по

кольцевым зазорам между анодом и коллекторами от напряжения коллектора  $U_c$  и тока индуктора  $I_i$ . Обратите внимание, что коллекторы также генерируют вторичное магнитное поле из-за вихревого тока, наведенного в их корпусах. Видно, что значение  $U_c = +300$  В достаточно для минимизации утечки электронов.

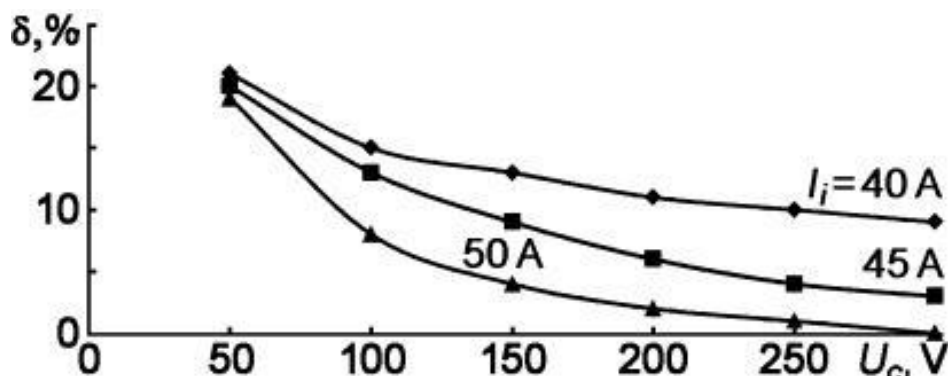


Рис. 8. Относительная утечка электронов через кольцевой зазор между анодом и коллектором.  
Индуктор - 100 обмоток

#### ВЫВОДЫ

Компьютерный код на основе Comsol Multiphysics был принят для моделирования и исследования эффекта отсечки электронов в цилиндрической электродной системе в импульсном магнитном поле внешнего индуктора. Учтено влияние вторичных магнитных полей, создаваемых вихревыми токами в электродах. Успешная проверка численных результатов доказана.

В системе с неоднородностью геометрии, а также электрических и магнитных полей вдоль оси

(из-за короткого катода, внутренней проекции на аноде напротив катода для концентрации магнитного поля, короткого индуктора), циклоиды Природа планарных электронных траекторий преобразуется в спиральные с вылетом электронов из межэлектродного промежутка. Чтобы получить эффект отсечки, необходимо перехватить электроны, выходящие из межэлектродного промежутка. Для этого целесообразно ввести концевые чашеобразные коллекторы с положительным напряжением 300 В при напряжении на аноде до 10 кВ.

Полученные результаты могут быть использованы при создании высоковольтного прерывателя тока, а также для анализа условий магнитного инициирования магнетронного разряда низкого давления и характеристик магнетронных электронных пушек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Shimonui. Phusikalische elektronik. Budapest: "Akademiai Kiado", 1972.
2. A.I. Kuzmichev. Magnetron sputtering systems. Kiev: "Avers", 2008, 244 p. (in Russian).
3. S.A. Maykut, I.M. Drozd, A.I. Kuzmichev, L.Yu. Tsybulsky. Investigation of electron cut-off in a

flat diode by magnetic field of a plane inductor // Electronics and communication (Elektronika i svjaz"). 2017, v. 22, № 4(88), p. 11-17 (in Russian).

4. A.S. Gilmour, D.L. Lockwood. The interruption of vacuum arcs at a high DC voltages // IEEE Trans. ED. 1975, v. 22, № 4, p.173-180.

5. H. Knoepfel. Pulsed high magnetic fields. Amsterdam-London: "North-Holland Publ. Co.", 1970.

6. L.M. Shpanin, G.R. Jones, J.W. Spencer. Convolute arc with flux concentrator for current interruption // IEEE Trans. PS. 2018, v. 46, № 1, p. 175-179.

#### **Поперешняк С.В.**

*кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри програмних систем і технологій,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Гріненко Сергій Анатолійович  
асистент кафедри інженерії програмного забезпечення  
Національний авіаційний університет*

### МОДЕЛЬ ІННОВАЦІЙНОЇ ЗРІЛОСТІ ПЕРСОНАЛУ ДЛЯ ОЦІНКИ ІТ ПІДПРИЄМСТВ

#### **Popreshnyak S.V.**

*candidate of physical and mathematical sciences,  
associate professor of the department of software systems and technology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
Grinenko S.A.*

*assistant of the department of software engineering,  
National Aviation University*

### MODEL OF INNOVATIVE MATURITY OF PERSONNEL FOR ESTIMATION OF IT ENTERPRISES

**Анотація.** Активне впровадження інформаційних систем при реалізації ІТ проектів на підприємствах часто не призводить до отримання бажаних результатів в автоматизації бізнес процесів. Це пов'язано, в основному, з недостатньою підготовленістю працівників ІТ підприємств до роботи в умовах постійного розвитку інформаційних технологій. Використання моделі інноваційної зрілості персоналу та чотирьохкрокового циклу до оцінки рівня зрілості ІТ підприємства, які запропоновані в даній роботі, дозволять керівництву підприємства адекватно реалізовувати сучасні методи керування для підвищення якості, ефективності та прибутковості даних підприємств. Застосування моделі інноваційної зрілості персоналу на підприємствах малого та середнього ІТ бізнесу з використанням змішаної методології показало, що вона дійсно допомагає при оцінці цими підприємствами рівня свого розвитку з позицій управління персоналом, наявності та використання нових ідей, продуктів і послуг, знань і навичок персоналу.

**Summary.** Active implementation of information systems in the implementation of IT projects at enterprises often does not lead to the desired results in the automation of business processes. This is mainly due to the lack of preparedness of IT enterprise employees to work in the conditions of constant development of information technologies. Using a model of innovative staff maturity and a four-step cycle to assess the level of maturity of the enterprise IT, which is proposed in this paper, will allow the management of the enterprise to adequately implement modern management methods to improve the quality, efficiency and profitability of these enterprises. The application of the innovative maturity model for small and medium-sized IT enterprises using a mixed methodology has shown that it really helps in assessing the level of their development from the point of view of personnel management, availability and use of new ideas, products and services, knowledge and skills of staff.

*Ключові слова: моделі розвитку, оцінка ІТ підприємства, зрілість персоналу, інноваційність, дієдатність.*

*Keywords: development models, IT enterprise evaluation, staff maturity, innovation, capacity.*

**Постановка проблеми.** Існуюча залежність підприємства від наявності сучасних прибутку і результативності діяльності інформаційних систем і технологій та