Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Махаева Наталья Юрьевна
Должность: Проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике "ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"
Дата подписания: 05.02.2026 10:55:51
Уникальный программный ключ:
fa349ae3[illegible]

Научная статья
УДК 621.317.72
doi:10.35694/YARCX.2025.71.3.011

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННОСТИ ПОЛЯ В АППАРАТЕ ВЕЙСА

Владимир Викторович Шмигель[1], Анна Дмитриевна Кутина[2]
[1, 2] Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия
[1]volod49@mail.ru, ORCID 0000-0001-7265-831X
[2]kutina@yarcx.ru, ORCID 0009-0001-4034-2174

Реферат. Проведённое исследование продолжает серию экспериментов и расчётов по изучению влияния электрического поля на выводимость личинок из оплодотворённой икры рыб с использованием аппарата Вейса. Рассчитана напряжённость электрического поля в колбе аппарата Вейса, действующего на стекло колбы и на водную среду внутри колбы в момент включения питающего напряжения и при длительной выдержке. Проведённые расчёты установили, что пик напряжённости выпадает на момент подачи напряжения на стекло колбы, а лучшее воздействие напряжённости поля на биологический объект происходит при длительном воздействии через стекло. Следовательно, напряжённость поля наилучшее влияние оказывает в широкой части колбы, в водной среде, максимально приближенной к стеклу, с другой стороны которого наложен электрод. В момент включения питающего напряжения напряжённость электрического поля равна 2216,8 кВ/м, а при длительной выдержке – 193 кВ/м. Напряжённость электрического поля, действующего на водную среду внутри колбы аппарата Вейса в момент включения питающего напряжения, равна 7,95 кВ/м, а при длительной выдержке – 5,13 кВ/м.

Ключевые слова: *напряжённость, электрическое поле, оплодотворённая икра, аппарат Вейса, расчёт напряжённости, диэлектрическая проницаемость, икра осетровых рыб*

DETERMINATION OF FIELD STRENGTH IN A WEISS APPARATUS

Vladimir V. Shmigel[1], Anna D. Kutina[2]
[1, 2]Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia
[1]volod49@mail.ru, ORCID 0000-0001-7265-831X
[2]kutina@yarcx.ru, ORCID 0009-0001-4034-2174

Abstract. The conducted research continues a series of experiments and calculations investigating the effect of an electric field on the hatchability of larvae from impregnated fish roe using a Weiss apparatus. The electric field strength in the Weiss apparatus flask, acting on the flask glass and the water medium inside at the time of switching on the supply voltage and during a prolonged keeping has been calculated. The performed calculations revealed that the peak field strength occurs when the voltage is applied to the flask glass, and the best effect of the field strength on the biological sample occurs during long-term effects through the glass. Consequently, the field strength has its greatest effect in the wide part of the flask, in the water medium closest to the glass, on the other side of which the electrode is placed. At the moment of switching on the supply voltage the electric field strength is 2216.8 kV/m, and during a prolonged keeping it is 193 kV/m. The electric field strength acting on the water medium inside the flask of the Weiss apparatus at the moment of switching on supply voltage is 7.95 kV/m, and after a prolonged keeping – 5.13 kV/m.

Keywords: *field strength, electric field, impregnated roe, Weiss apparatus, field strength calculation, permittivity, sturgeon roe*

Введение. Авторами продолжена серия экспериментов и расчётов по изучению влияния электрического поля на выводимость личинок из оплодотворённой икры рыб с использованием аппарата Вейса [1; 2]. В настоящей работе проводится расчёт напряжённости электрического поля на стенках и внутри колбы аппарата Вейса.

Любой из видов электрических полей имеет свои характеристики и по-своему влияет на окружающие его заряженные объекты. При помощи расчёта напряжённости возможно описать электрическое поле в зависимости от формы заряженного тела.

Необходимость осуществлять контроль и из-

мерения параметров электрических полей связано с разным воздействием электрических полей техногенной природы на окружающие технические и биологические объекты. В связи с этим создание новых методов и средств измерений напряжённости электрического поля техногенной природы является актуальной задачей [3].

Цель работы – провести расчёт напряжённости электрического поля в колбе аппарата Вейса, действующего на стекло колбы и на водную среду внутри колбы в момент включения питающего напряжения и при длительной выдержке. Расчёт необходим для дальнейшего исследования воздействия электрического поля на оплодотворённую икру.

Методы и материалы исследования. Учёные установили, что воздействие стороннего статического электрического поля многократно повышает всхожесть семян, урожайность зерновых; улучшает плодовитость, размеры и прочие качества рыб, выведенных из икры в объёме обрабатываемого водного раствора [4].

При подключении полеформирующих электродов к высокому напряжению в межэлектродном пространстве будет генерироваться неоднородное электрическое поле с расчётной напряжённостью, и чем больше расстояние, тем больше погрешность. Это вполне может быть приемлемо для эксперимента. Эксперимент в поле точечного источника целесообразно начинать со средней части межэлектродного пространства [5].

Для экспериментальных исследований выбрана высоковольтная измерительная установка, генерирующая неоднородное электрическое поле точечного источника. Высоковольтная установка работает от сети переменного тока 220 В и частоты 50 Гц. Высоковольтный трансформатор, посредством включения в первичную цепь лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа), позволяет устанавливать полеформирующее напряжение от 0 до 50 кВ [5]. При снятии статических характеристик ЛАТРом на пластинах высоковольтной измерительной установки пошагово измерялось напряжение [6]. Целесообразнее генерировать неоднородное ЭП в ограниченном пространстве [5].

Стеклянная колба аппарата Вейса заполнена водой. Известно, что в чистой воде проводимость осуществляется ионами водорода H^+ и гидроксид-ионами OH^-, которые образуются в результате реакции диссоциации H_2O <–> $H^+ + OH^-$ и самоионизации [7].

Для реализации метода измерений требуется иметь два измеренных значения напряжённости в слоях диэлектриков E_1 и E_2 в одной точке поля [3]. Значения напряжённостей E_1 и E_2 отличаются. Использование метода измерения по среднему значению потребовало создания датчиков напряжённости ЭП (НЭП) нового типа – сдвоенных датчиков, основанных на явлении электрической индукции [3].

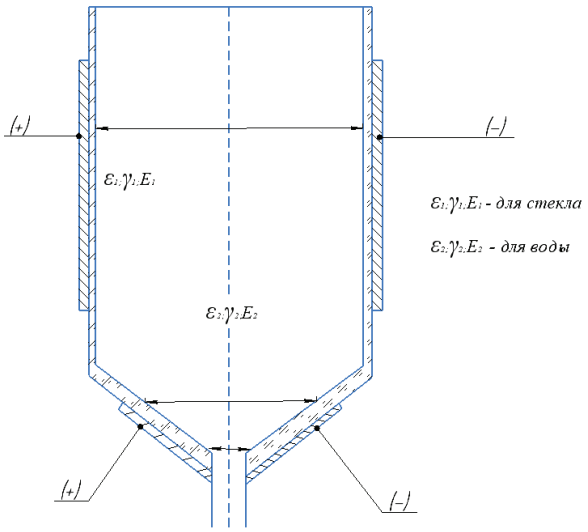

Рисунок 1 – Схема колбы аппарата Вейса

Результаты исследования. На рисунке 1 представлена схема к расчёту напряжённостей поля в межэлектродном пространстве колбы аппарата Вейса с подключёнными медными электродами. Толщина стеклянной стенки колбы 5 мм (0,005 м). Для расчётов примем значение диэлектрической проницаемости воды 80,4. Под длительной выдержкой понимается время более 3-х секунд.

В формуле (1) значение напряжений в слоях в момент включения питающего напряжения имеет вид [4, с. 20]:

$$E_1 = \frac{\varepsilon_2 U}{h_1\varepsilon_2 + h_2\varepsilon_1}\,;\; E_2 = \frac{\varepsilon_1 U}{h_1\varepsilon_2 + h_2\varepsilon_1}, \qquad (1)$$

где E_1, E_2 – напряжённость поля в слоях диэлектриков: E_1 – в слое стекла колбы, E_2 – в слое воды около стекла колбы с внутренней стороны;

h_1 – толщина стекла колбы;

h_2 – толщина водного слоя с внутренней стороны колбы;

ε_1 – диэлектрическая проницаемость для стекла – 7;

ε_2 – диэлектрическая проницаемость для воды – 80,4;

U – напряжение на электроде 41 кВ.

При длительной выдержке под напряжением формула (1) переходит в формулу (2):

$$E_1 = \frac{\gamma_1 U}{h_1\gamma_2 + h_2\gamma_1}; \quad E_2 = \frac{\gamma_2 U}{h_1\gamma_2 + h_2\gamma_1}, \qquad (2)$$

где γ_1 – удельная проводимость в слое стекла колбы 10^9–10^{13} Ом·м;

γ_2 – удельная проводимость в слое воды 10^3–10^4 Ом·м;

Расчетным путём установлены параметры для первого (стекло) и второго (вода) межэлектродных диэлектриков:

– для стекла: $\varepsilon_1 = 7$; $h_1 = 5$ мм (0,005м); $\gamma_1 = 10^{12}$ Ом·м;

– для воды: $\varepsilon_2 = 80{,}4$; $h_2 = 155$ мм (0,155м); $\gamma_2 = 10^3$ Ом·м.

При подводимом к электродам напряжении U = 41 кВ в момент включения напряжения по формуле (1) получим:

$$E_1 = \frac{80{,}4 \cdot 41}{0{,}005 \cdot 80{,}4 + 0{,}155 \cdot 7} = \frac{3296{,}4}{1{,}487} = 2\,216{,}8 \text{ кВ/м}$$

$$E_2 = \frac{7 \cdot 41}{0{,}005 \cdot 80{,}4 + 0{,}155 \cdot 7} = \frac{287}{1{,}487} = 193 \text{ кВ/м}$$

При длительной выдержке под напряжением по формуле (2) получим:

$$E_1 = \frac{10^{12} \cdot 41}{0{,}005 \cdot 10^3 + 0{,}155 \cdot 10^{12}} = 7{,}95 \text{ кВ/м}$$

$$E_2 = \frac{10^3 \cdot 41}{0{,}005 \cdot 10^3 + 0{,}155 \cdot 10^{12}} = 5{,}13 \text{ кВ/м}$$

Основное воздействие происходит в цилиндрической части колбы, поэтому обработкой в конусной части колбы можно пренебречь.

Проведённые расчёты установили, что пик напряжённости выпадает на момент подачи напряжения на стекло колбы, а лучшее воздействие напряжённости поля на биологический объект происходит при длительном воздействии через стекло. Следовательно, наилучшее влияние стимуляции электрическим полем идёт в цилиндрической части колбы, в водной среде, максимально приближенной к стеклу, где наложен электрод.

Вывод. Авторами выполнен расчёт напряжённости электрического поля, действующего на:

– стекло колбы – в момент включения питающего напряжения напряжённость электрического поля равна 2216,8 кВ/м, при длительной выдержке – 193 кВ/м;

– водную среду внутри колбы аппарата Вейса, в момент включения питающего напряжения равную 7,95 кВ/м, при длительной выдержке – 5,13 кВ/м.

Произведённый расчёт позволит более эффективно управлять воздействием электрического поля на биологический объект с целью повышения выводимости личинок из оплодотворённой икры осетровых рыб.

Список источников

1. Шмигель В. В., Жолудева В. В., Кутина А. Д. Оптимизация технологического процесса работы аппарата Вейса при инкубации на примере икры ленского осетра с использованием электростатического поля // Вестник АПК Верхневолжья. 2025. № 1 (69). С. 63–66. DOI 10.35694/YARCX.2025.69.1.009. EDN VRYLWI.

2. Шмигель В. В., Жолудева В. В., Кутина А. Д. Математическое планирование и обработка эксперимента с икрой ленского осетра в аппарате Вейса при наложении на колбу с электродами электростатического поля // Вестник АПК Верхневолжья. 2024. № 1 (65). С. 119–127. DOI 10.35694/YARCX.2024.65.1.017. EDN TOXNIY.

3. Бирюков С. В. Метод измерения напряженности электрического поля с определением погрешности результата измерений и расстояния до источника поля // Научное приборостроение. 2023. Т. 33, № 4. С. 40–47. EDN TILKKJ.

4. Шмигель В. В. Сепарация и стимуляция семян зерновых и овощных культур в электрических полях : монография. Ярославль : Изд-во ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ», 2025. 240 с. ISBN 978-5-98914-291-0.

5. Бирюков С. В., Тюкина Л. В., Тюкин А. В. Экспериментальные исследования сдвоенного электроиндукционного сферического датчика напряженности электрического поля в неоднородном поле точечного источника // Омский научный вестник. 2022. № 3. С. 90–97. DOI 10.25206/1813-8225-2022-183-90-97. EDN PQCMUC.

6. Бирюков С. В., Тюкина Л. В., Тюкин А. В. Градуировка сдвоенного электроиндукционного сферического датчика напряженности электрического поля в однородном поле // Омский научный вестник. 2022. № 2 (182). С. 102–109. DOI 10.25206/1813-8225-2022-182-102-109. EDN UTLMPI.

7. Nekrasov S. A. Biophysical Impacts of Space Origin // European Researcher. 2012. No. 1 (16). P. 93–100. EDN OUIRAF.

References

1. Shmigel’ V. V., Zholudeva V. V., Kutina A. D. Optimizaciya tekhnologicheskogo processa raboty apparata Vejsa pri inkubacii na primere ikry lenskogo osetra s ispol’zovaniem elektrostaticheskogo polya // Vestnik APK Verhnevolzh’ya. 2025. № 1 (69). S. 63–66. DOI 10.35694/YARCX.2025.69.1.009. EDN VRYLWI.

2. Shmigel’ V. V., Zholudeva V. V., Kutina A. D. Matematicheskoe planirovanie i obrabotka eksperimenta s ikroj lenskogo osetra v apparate Vejsa pri nalozhenii na kolbu s elektrodami elektrostaticheskogo polya // Vestnik APK Verhnevolzh’ya. 2024. № 1 (65). S. 119–127. DOI 10.35694/YARCX.2024.65.1.017. EDN TOXNIY.

3. Biryukov S. V. Metod izmereniya napryazhennosti elektricheskogo polya s opredeleniem pogreshnosti rezul'tata izmerenij i rasstoyaniya do istochnika polya // Nauchnoe priborostroenie. 2023. T. 33, № 4. S. 40–47. EDN TILKKJ.

4. Shmigel' V. V. Separaciya i stimulyaciya semyan zernovyh i ovoshchnyh kul'tur v elektricheskih polyah : monografiya. Yaroslavl' : Izd-vo FGBOU VO «Yaroslavskij GAU», 2025. 240 s. ISBN 978-5-98914-291-0.

5. Biryukov S. V., Tyukina L. V., Tyukin A. V. Eksperimental'nye issledovaniya sdvoennogo elektroindukcionnogo sfericheskogo datchika napryazhennosti elektricheskogo polya v neodnorodnom pole tochechnogo istochnika // Omskij nauchnyj vestnik. 2022. № 3. S. 90–97. DOI 10.25206/1813-8225-2022-183-90-97. EDN PQCMUC.

6. Biryukov S. V., Tyukina L. V., Tyukin A. V. Graduirovka sdvoennogo elektroindukcionnogo sfericheskogo datchika napryazhennosti elektricheskogo polya v odnorodnom pole // Omskij nauchnyj vestnik. 2022. № 2 (182). S. 102–109. DOI 10.25206/1813-8225-2022-182-102-109. EDN UTLMPI.

7. Nekrasov S. A. Biophysical Impacts of Space Origin // European Researcher. 2012. No. 1 (16). P. 93–100. EDN OUIRAF.

Сведения об авторах

Владимир Викторович Шмигель – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 5673-4145.

Анна Дмитриевна Кутина – ассистент кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 7741-9305.

Information about the authors

Vladimir V. Shmigel – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 5673-4145.

Anna D. Kutina – Assistant of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 7741-9305.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.