

УДК 621.319

**МОДЕЛЮВАННЯ КАМЕРИ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОЇ  
ОБРОБКИ БІОМАСИ З ІЗОЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОДОМ**

А.О. РИЖКОВ

Таврійський державний агротехнологічний університет

*Високовольтна електроімпульсна обробка є високоефективним методом дезінтеграції біомаси. В роботі проаналізовано розподіл електричного поля в камері періодичної дії з ізольованим електродом у порівнянні з аналогічною за конструкцією камерою з прямим контактом електроду з сировиною методом кінцевих елементів за допомогою програмного пакету SEMCAD X. Встановлено, що камера з ізольованим електродом забезпечує достатню напруженість поля для ефективної обробки*

Потенційні сфери застосування високовольтної електроімпульсної обробки в біотехнологічних процесах та харчовій промисловості обумовлені механізмом її дії на біологічну клітку – електропорацією [1]. Високовольтна електроімпульсна обробка передбачає прикладення коротких (близько 100 мкс) імпульсів високої напруги до зразка, який розміщено між двома електродами. Перевищення потенціалу покою мембрани клітки (10 мВ) прикладанням зовнішнього електричного поля до величини більше приблизно 1 В призводить до швидкого електричного пробоя та місцевих змін мембрани та стінки клітки [2].

Ступінь структурних змін в біологічних тканинах і, відповідно, ефективність високовольтної електроімпульсної обробки залежить від декількох факторів. В першу чергу це параметри джерела імпульсного електричного поля – напруженість поля, тривалість обробки, енергія, що передається до біооб'єкту, та форма імпульсу [3]. Не менше значення відіграють параметри сировини, що обробляється. Одним з ключових параметрів для обробки імпульсним електричним полем є провідність сировини, яка також є функцією температури. Середовище багате іонами різних видів, таке як, наприклад, томатний сік має труднощі в досягненні достатньої надкритичної напруги, так як менша пікова напруженість поля створюється в камері обробки. Цей ефект має важливе значення для обробки клітин рослин і тварин, а також для досягнення інактивації мікроорганізмів.

***Об'єкти та методи дослідження***

Електроди в камері обробки, в більшості випадків, мають прямий електричний контакт з сировиною. В результаті спостерігається електрохімічна корозія та частки металу потрапляють до сировини, що обробляється [3]. Для запобігання цьому явищу в роботі [4] пропонується обробка біологічного об'єкту без прямого електричного контакту з сировиною. Даний підхід ставить на меті вирішення зазначених проблем корозії електродів, але потребує додаткових досліджень ефективності високовольтної електроімпульсної обробки.

Об'єктом дослідження є камера періодичної дії високовольтної електроімпульсної обробки біомаси. Дослідження розподілу електричного поля в камері виконано методом кінцевих елементів [5] за допомогою програмного пакету SEMCAD X [6].

**Постановка завдання**

Мета даної статті полягає в аналізі розподілу електричного поля в камері періодичної дії високовольтної електроімпульсної обробки з ізольованими електродами у порівнянні з аналогічною за конструкцією камерою з прямим контактом електродів з сировиною.

**Результати та їх обговорення**

Камера періодичної дії високовольтної електроімпульсної обробки складається з двох сталених електродів розміром  $100 \times 50 \times 2$  розташованих на відстані 30 мм. Між електродами знаходиться простір камери для розміщення сировини, що обробляється. Зовні електродів та внутрішнього простору камери знаходиться ізолятор з плексиглазу. В конструкції камери з ізольованими електродами передбачено додатковий шар ізоляції між електродами та сировиною товщиною 1 мм.

На один електрод подаються імпульси прямокутної форми амплітудою 90 кВ, тривалістю 100 мкс та частотою 30 Гц. Другий електрод має нульовий потенціал. Сировина в камері обробки має провідність 0,1 См/м.

Чисельне моделювання розподілу напруженості електричного поля в камері періодичної дії високовольтної електроімпульсної обробки виконано за допомогою розв'язувача «Low Frequency Solver» програмного пакету SEMCAD X версії 14.6.2 [6]. Результати моделювання камери з ізольованими електродами представлені на рис. 1, а камери з прямим контактом електродів – на рис. 2. На обох рисунках показані контури конструктивних частин в поперечному перерізі через середину камери.

Напруженість електричного поля всередині камері з ізольованим електродом досягає  $3,1 \cdot 10^3$  В/м, в той час коли в камері з прямим контактом електродів це значення складає  $3,0 \cdot 10^3$  В/м. Крім того в першому випадку (рис. 1) спостерігається більш однорідне електричне поле.

Камера обробки з ізольованими електродами забезпечує більшу безпеку середовища, що обробляється, так як не допускає потрапляння в неї багатьох хімічно активних елементів, які можуть бути отримані шляхом електричного розряду і електродних процесів. Зменшення ділянок з сильно локалізованими полями, що перевищують електричну міцність середовища, знижує вірогідність формування мікророзрядів та стримерів. Такий підхід попереджує розпадання хімічної структури рідин в безпосередній близькості від поверхні електродів, можливе вироблення токсичних хімічних речовин і внесення дрібних часток металу електродів в середовище.

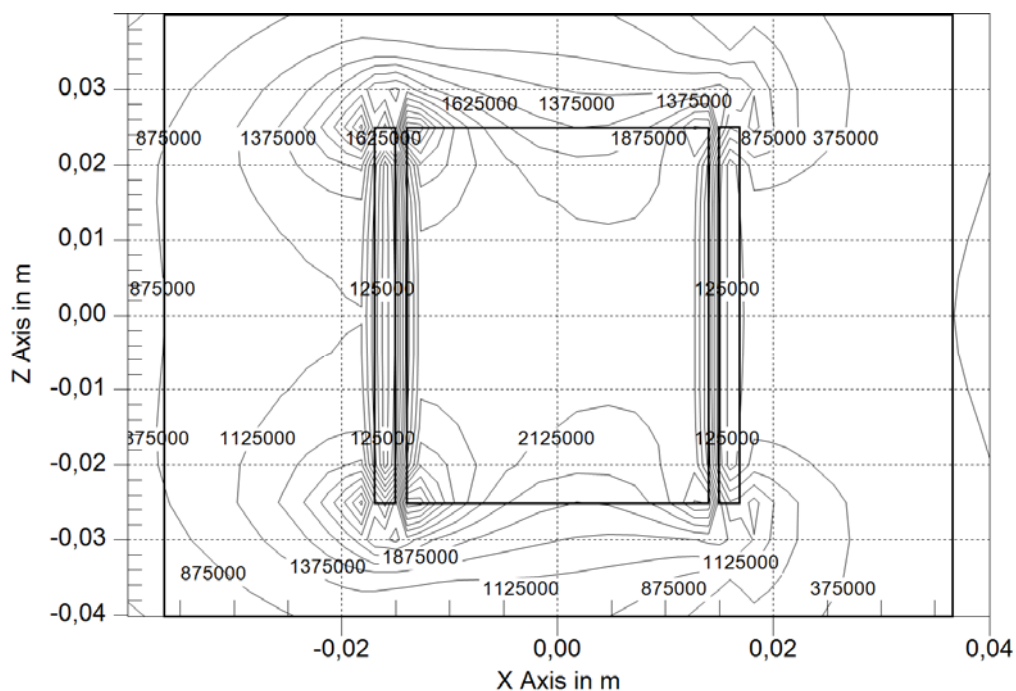


Рис. 1. Розподіл напруженості електричного поля (В/м) в камері високовольтної електроімпульсної обробки з ізольованими електродами

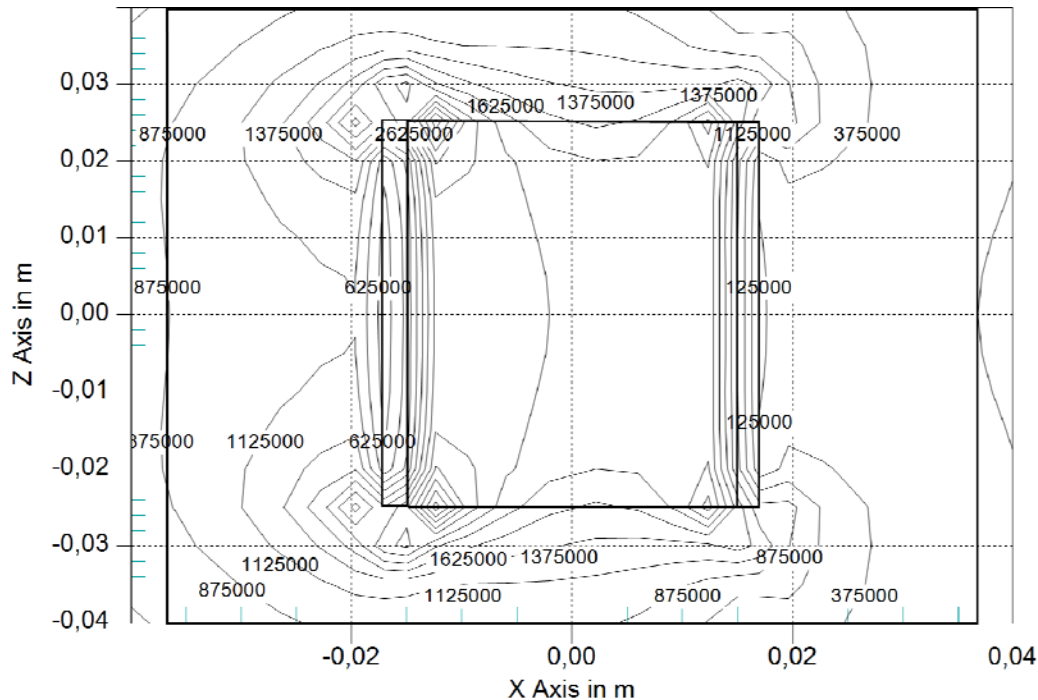


Рис. 2. Розподіл напруженості електричного поля (В/м) в камері високовольтної електроімпульсної обробки з прямим контактом електродів з сировиною

**Висновки**

Результати чисельного моделювання електричного поля в камері періодичної дії високовольтної електроімпульсної обробки з ізольованими електродами свідчать про достатній рівень напруженості електричного поля та більш однорідний розподіл поля порівняно з камерою з прямим контактом електродів з сировиною.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Jaeger H. Food industry applications for pulsed electric fields / H. Jaeger, A. Balasa, D. Knorr // *Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials*. – New York: Springer, 2009. – P. 181–216.
2. Toepfl S. High intensity pulsed electric fields applied for food preservation / S. Toepfl, V. Heinz, D. Knorr // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 2007. – Vol. 46. – № 6. – P. 537–546.
3. Toepfl S. Pulsed electric fields (PEF) for permeabilization of cell membranes in food- and bioprocessing – Applications, process and equipment design and cost analysis / S. Toepfl. – Berlin: Berlin University of Technology, 2006. – 180 p.
4. Lubicki P. High voltage pulse application for the destruction of the Gram-negative bacterium *Yersinia enterocolitica* / P. Lubicki, S. Jayaram // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. – 1997. – Vol. 43. – № 1. – P. 135–141.
5. Rao S.S. *The finite element method in engineering: [4th ed]* / S.S. Rao. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2004. – 688 p.
6. Програмний пакет SEMCAD X. Версія 14.6.2 [Електронний ресурс] / SPEAG. – Режим доступу: <http://www.speag.com/products/semcad/solutions/>