

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАРЯДА В ПЛОСКОМ КОНДЕНСАТОРЕ ПРИ НАЛИЧИИ АВТОНОМНОЙ УНИПОЛЯРНОЙ ИНЖЕКЦИИ

В. Ю. Целищев

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
614990, Пермь, Букирева, 15

Рассмотрены стационарные распределения зарядов в слабопроводящей жидкости, находящейся в электрическом поле плоского горизонтального конденсатора. Подразумевается, что заряды в жидкости образуются путем униполярной автономной инжекции на аноде. Изучено влияние интенсивности инжекции на полный заряд в конденсаторе и на катодный ток. Проведена оценка влияния диффузии на вид стационарного распределения заряда в конденсаторе.

**Ключевые слова:** слабопроводящая жидкость; униполярная инжекция; диффузия заряда

## PROPAGATION OF CHARGE IN FLAT CAPACITOR IN THE PRESENCE OF AUTONOMOUS UNIPOLAR INJECTION

V. Y. Tselishev

Perm State University, Bukireva St. 15, 614990, Perm

Stationary distributions of charges in a low conducting liquid located in the electric field of a flat horizontal capacitor are considered. The charges in the liquid are formed by unipolar autonomous injection on the anode. The influence of the injection on the total charge in the capacitor and on the cathode current is studied. The effect of diffusion on the a stationary charge distribution is estimated.

**Keywords:** low conducting liquid; unipolar injection; charge diffusion

### 1. Введение

Существует тип ионной инжекции из ионитовых мембран в полярную жидкость, когда диэлектрическая проницаемость жидкости настолько высока, что ионы из мембраны «вытягиваются» в объем жидкого диэлектрика. В этом случае концентрацию инжектируемых ионов на мембране считают постоянной, а инжекцию называют автономной [1].

Попав в жидкость, ионы начинают распространяться в конденсаторе под действием различных механизмов транспорта: проводимости, диффузии, а также при определенных условиях вследствие конвективного переноса [2–4].

В данной работе проведено исследование распределений зарядов внутри покоящейся слабопроводящей жидкости, находящейся в постоянном электрическом поле конденсатора, при автономной инжекции с анода.

### 2. Постановка задачи

Рассмотрим плоский горизонтальный конденсатор толщиной  $L$ , заполненный вязкой несжимаемой изотермической слабопроводящей жидкостью, находящейся внутри плоского конденсатора, который создает

постоянное вертикальное электрическое поле  $E$ . Ось  $z$  направлена перпендикулярно границам слоя. Положениям металлических электродов конденсатора соответствуют координаты  $z=0, L$ . Потенциал нижней границы  $\Phi(0) = \Phi_0$ , потенциал верхней границы  $\Phi(L) = 0$ . На нижнем электроде  $z=0$  обеспечена автономная инжекция заряженных частиц в жидкость  $q(z=0) = C$ , которая характеризуется коэффициентом инжекции  $C$ . В данной работе как и в [3, 4] считается, что инжекция заряда слабая  $C \ll 1$ . На верхнем электроде обращается в ноль диффузионный поток заряженных частиц (выполняется условие  $\partial q / \partial z = 0$  [2]).

В начальный момент времени заряды внутри конденсатора отсутствуют.

Математически задача описывается безразмерной системой уравнений:

$$\begin{cases} \nabla(\mathbf{E}q) + \alpha\Delta q = 0, \\ \mathbf{E} = -\nabla\Phi, \\ \nabla\mathbf{E} = q, \end{cases} \quad (1)$$

где  $q$  – плотность заряда,  $\alpha = D / K\Phi_0$  – отношение диффузионного и электрического токов ( $K$  – коэффициент подвижности зарядов,  $D$  – коэффициент диффузии). Первое уравнение системы – это закон сохранения заряда, второе и третье – связи между плотностью заряда, напряженностью и потенциалом.

Для характеристики установившихся состояний будем использовать такие величины как ток проводимости на верхнем электроде  $j(z=L) = Eq$  и

полный заряд внутри конденсатора  $Q = \int_0^L q dz$ .

### 3. Метод решения

Решение системы (2) будет осуществляться путем разложения искомых величин по малому коэффициенту инжекции в стационарном случае:

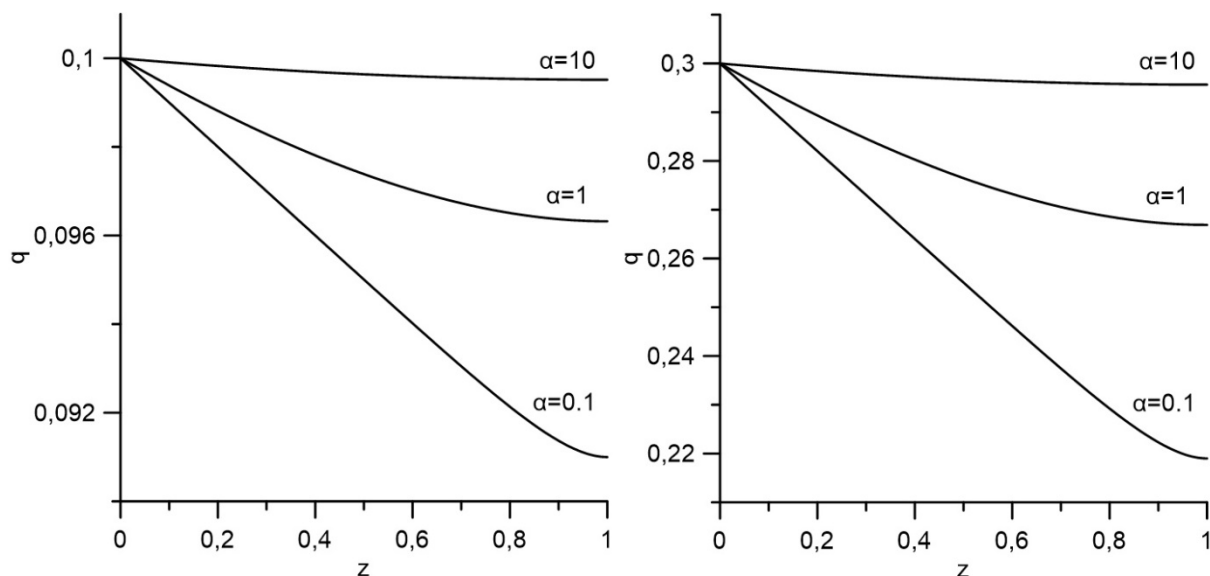
$$\begin{aligned} q &= q_0(z) + Cq_1(z) + C^2q_2(z) + \dots \\ E &= E_0(z) + CE_1(z) + C^2E_2(z) + \dots \\ \Phi &= \Phi_0(z) + C\Phi_1(z) + C^2\Phi_2(z) + \dots \end{aligned}$$

Разложение будет проводиться до второго порядка малости, так как в решении первого порядка не содержится информации о влиянии на распределение зарядов диффузии.

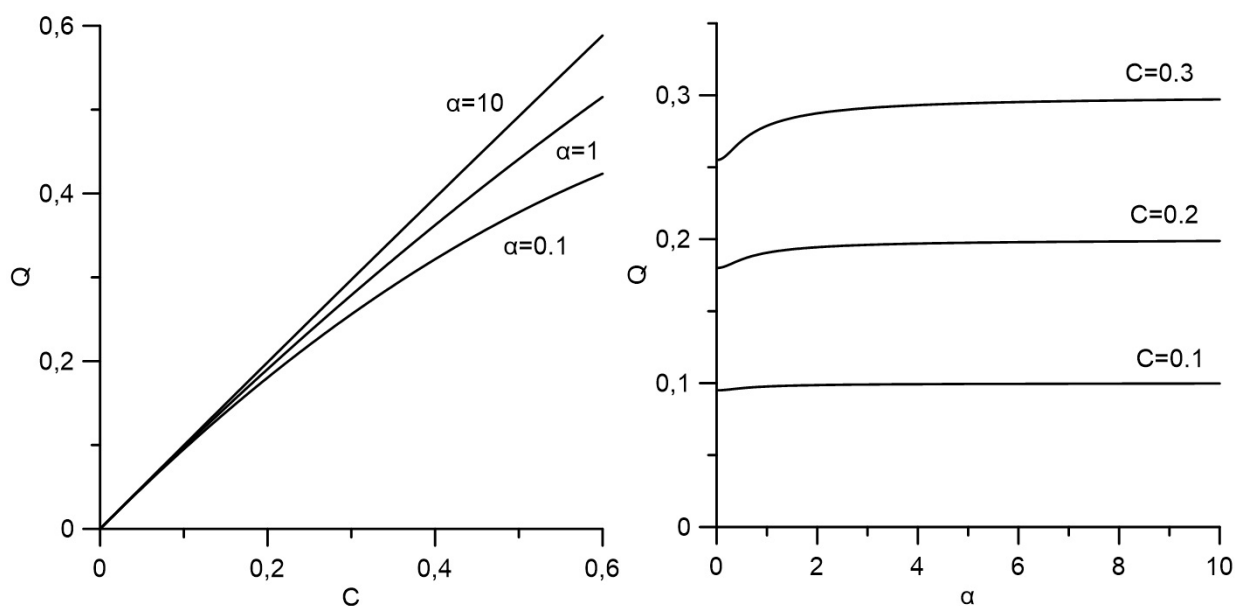
### 4. Результаты

На рис. 1 изображены графики зависимости плотности заряда от вертикальной координаты в стационарном состоянии. Исходя из них, можно заключить, что чем больше коэффициент  $\alpha$ , характеризующий

интенсивность диффузии, тем больше диффузионный ток и тем равномернее заряды будут распределены в среде.



**Рис. 1.** Зависимость плотности заряда от координаты при различных  $\alpha$  и фиксированном  $C$  (слева – 0.1, справа – 0.3)



**Рис. 2.** Полный заряд в системе в зависимости от различных начальных условий

По графикам, изображенным на рис. 2 и 3 можно заметить, что при увеличении интенсивности инъекции полный заряд в системе  $Q$  и величина катодного  $j(z = 1)$  тока возрастают.

При фиксированном уровне инъекции, начиная с некоторого значения коэффициента диффузии  $\alpha$ , в системе  $Q$  и величина катодного  $j(z = 1)$  выходят на насыщение. При этом повышение уровня инъекции повышает общий заряд в конденсаторе и величину анодного тока.

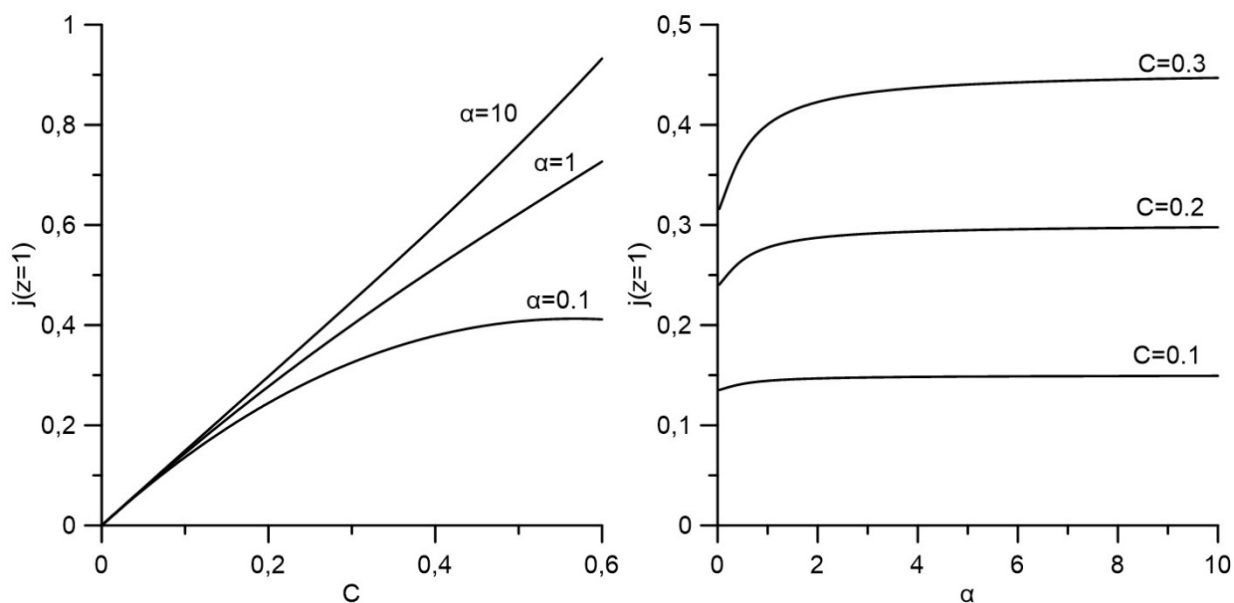


Рис. 3. Анодный ток в зависимости от различных начальных условий

## 5. Заключение

В настоящей работе исследовано распределение заряда, инжектируемого с анода, внутри плоского конденсатора, заполненного слабопроводящей жидкостью. Определено влияние интенсивности инжекции и диффузии на характер равновесных распределений.

## Список литературы

1. Жакин А. И. Приэлектродные и переходные процессы в жидких диэлектриках // Успехи физических наук. 2006. Т. 176. № 3. С. 289–310.
2. Perez A. T., Castellanos A. Role of charge diffusion in finite-amplitude electroconvection // Physical Review A. 1989. Vol. 40. P. 5844–5855.
3. Тараут А. В., Смородин Б. Л. Электроконвекция при наличии автономной униполярной инжекции // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2012. Т. 142. № 2. С. 403–412.
4. Смородин Б. Л., Тараут А. В. Динамика волновых электроконвективных течений в модулированном электрическом поле // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2014. Т. 145. № 1. С. 180–188.