

*Манаков Н.А.,
доктор физико-математических наук, профессор
доцент кафедры «Физики и методики преподавания физики»
Оренбургский государственный университет
Россия, г. Оренбург*

*Узяков Р.Н.,
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Деталей машин прикладной механики»
Оренбургский государственный университет
Россия, г. Оренбург*

*Емец А.И.,
студент
4 курс, Физический факультет
Оренбургский государственный университет
Россия, г. Оренбург*

*Шамов И.В.,
студент
3 курс, Электроэнергетический факультет
Оренбургский государственный университет
Россия, г. Оренбург*

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СЛАБО СОЛЕНОЙ ВОДЕ

***Аннотация:** Статья посвящена исследованию магнитодинамического эффекта и возможности его использования для обессоливания воды. Проведен соответствующий эксперимент и сделаны выводы.*

***Ключевые слова:** магнитодинамический эффект, обессоливание, магнитное поле, разность потенциалов.*

Annotation: *The article is devoted to the study of the magnetodynamic effect and the possibility of its use for water desalination. A corresponding experiment was conducted and conclusions were drawn.*

Key words: *magnetodynamic effect, desalination, magnetic field, potential difference.*

Действие магнитного поля на движущиеся заряды описывается с помощью силы Лоренца [1]:

$$F=Q[v \cdot B] \quad (1)$$

Здесь Q заряд, движущийся со скоростью v в поле с магнитной индукцией B .

Благодаря силе Лоренца в проводнике с током в магнитном поле возникает «поперечная» разность потенциалов, т.е. наблюдается эффект Холла. В этом случае сила Лоренца отклоняет двигающиеся по проводнику электроны в направлении перпендикулярном их движению. Эффект Холла наблюдается также в полупроводниках и электропроводящих растворах [2]. Аналогичный эффект наблюдается и при протекании электропроводящей жидкости в магнитном поле (рисунок 1).

В последнем случае говорят о магнитогидродинамическом эффекте, который используется в практике для непосредственного преобразования тепловой энергии в электрическую [3].

Во многих регионах земли остро ощущается нехватка пресной воды при наличии больших запасов соленой. В связи с этим возникает вопрос о возможности использования магнитогидродинамического эффекта для обессоливания воды. Проверке такой возможности, а также изучению магнитогидродинамического эффекта в водопроводной и слабо соленой воде и посвящена настоящая работа.

Методика эксперимента

Водопроводная (NaCl, 0,00 %), подсолённая и дистиллированная (ГОСТ 6709-72) вода прогонялась через кюветы, помещённые между двух пластин постоянного магнита SmCo5 с помощью циркулярного электрического насоса CN-25/4 с разной скоростью, а также самотёком со скоростью $\sim 0,1$ м/с. Индукция магнитного поля во всех случаях составляла 0,07 Тл. Согласно оценке по критерию Рейнольдса, в первом случае имело место турбулентное течение воды, а во втором – ламинарное.

Во втором случае использовалась кювета, позволяющая разделять поток воды на две части (рис. 1) с целью проверки возможности обессоливания воды. Для этого фиксировалась электропроводность воды и концентрация NaCl до прохождения через магнитное поле и после в обоих потоках с помощью кондуктометра СОМ 100 (приборная погрешность 2%). Поперечная разность потенциалов измерялась с помощью милливольтметра (приборная погрешность 0,01 мВ). Магнитное поле между пластинами постоянного магнита измерялось измерителем магнитной индукции - актаксом АТЕ-8702.

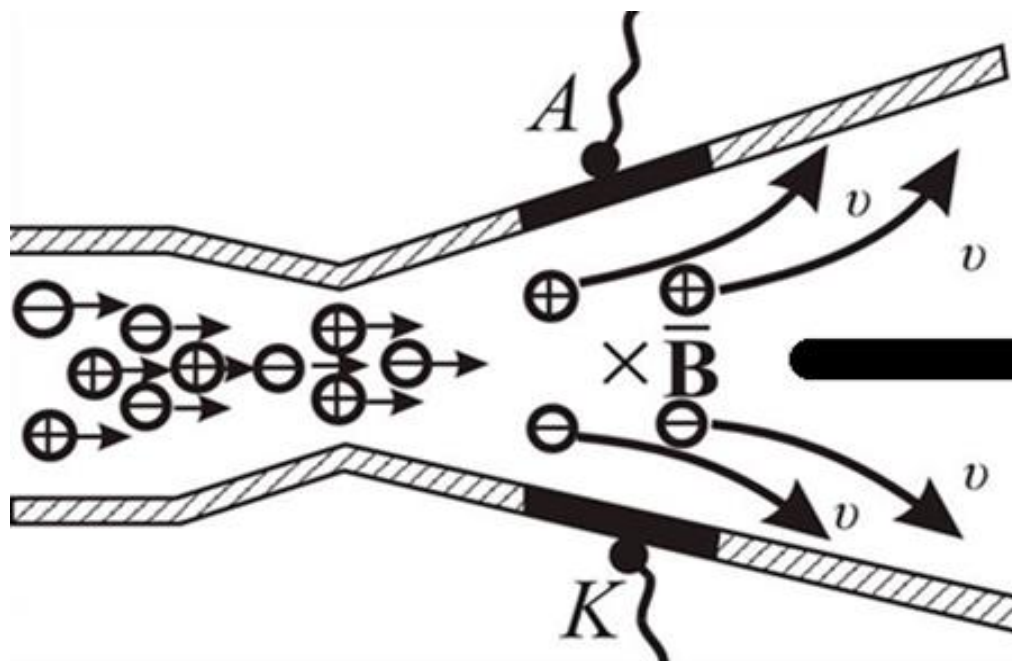


Рисунок 1. Схематичное представление измерения поперечной разности потенциалов и разделения потока воды

Результаты эксперимента

В таблице 1 приведены значения электропроводности дистиллированной, водопроводной и в разной степени подсолённой воды.

Таблица 1.

Зависимость электропроводности воды от концентрации NaCl

Концентрация NaCl, %	Электропроводность, мСм/см
Дистиллированная	0.11
0.00	1.03
0.12	3.84
0.20	1.51
0.25	6.57
0.40	7.02
0.50	10.50
0.60	12.00

В таблице 2 приведены значения поперечной разности потенциалов, возникающей при трех разных скоростях работы насоса.

Таблица 2.

Зависимость поперечной разности потенциалов от скорости пропускания водопроводной и подсолённой воды через магнитное поле с индукцией 0,07 Тл

Концентрация NaCl, %	Скорость течения воды, м/с	Разность потенциалов, мВ
0.00	0.5	0.10
0.00	1.0	0.15
0.00	1.5	0.20
0.50	0.5	14.00
0.50	1.0	18.00
0.50	1.5	22.00

В таблице 3 приведены значения поперечной разности потенциалов, возникающей в воде с разной концентрацией NaCl при скорости её течения ~ 0,1 м/с в магнитном поле с индукцией 0,07 Тл.

Таблица 3.

Зависимость поперечной разности потенциалов от концентрации NaCl

Концентрация NaCl, %	Разность потенциалов, мВ
Дистиллированная	0.5
0.000	1.0
0.025	2.5
0.125	12.0
0.250	21.0
0.500	36.0
1.250	56.0
2.500	72.0
5.000	88.0

После прохождения подсолённой воды через магнитное поле в обоих потоках наблюдалось устойчивое увеличение электропроводности на 2-5%, хотя можно было ожидать её уменьшение в связи с частичным разделением ионов натрия и хлора по разным потокам. Изменения концентрации соли зафиксировать не удалось.

Обсуждение результатов эксперимента

Два процесса могут приводить к появлению поперечной разности потенциалов при протекании воды в магнитной поле:

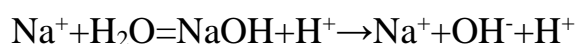
- 1) отклонение ионов натрия и хлора в противоположные стороны под действием силы Лоренца;
- 2) разворот полярных молекул воды (представляющих электрические диполи) под действием силы Лоренца.

Из таблицы 1 следует, что носителей тока в дистиллированной воде на порядок меньше, чем в водопроводной. Тем не менее поперечная разность

потенциалов (см. таблицу 3) различается всего в два раза. Это свидетельствует об ориентации дипольных моментов воды под действием силы Лоренца.

Согласно формуле (1) сила Лоренца должна зависеть от скорости течения воды и от индукции магнитного поля. Индукция магнитного поля в первом и втором экспериментах одинакова, а скорость в первом эксперименте больше по порядку величины. Тем не менее, как следует из таблиц 2 и 3, разность потенциалов, образующаяся во втором эксперименте больше. Это можно объяснить тем, что турбулентное течение воды затрудняет поперечное отклонение ионов натрия и хлора и ориентацию полярных молекул воды осью диполя вдоль направления действия силы Лоренца.

Некоторое увеличение электропроводности подсоленной воды (зависящей от концентрации ионов) после разделения на потоки можно объяснить протеканием ниже приведенных реакций в разделенных потоках воды.



Как видно в результате этих реакций концентрация ионов в отдельных потоках воды должна увеличиться.

Холловская поперечная разность потенциалов при протекании тока по проводнику определяется соотношением (2):

$$\Delta\varphi = IB/nd = nevSB/nd = vSB/d = avB, \quad (2)$$

где I – ток в проводнике, B — индукция магнитного поля, e – заряд электрона, n – концентрация электронов, d и a - ширина и толщина проводника, S – площадь сечения проводника, v – скорость движения электронов.

В нашем случае v – это скорость течения воды, а a — толщина потока воды. Как и в случае тока по проводнику, в нашем случае наблюдается зависимость $\Delta\varphi$ (см. таблицу 1) от скорости движения зарядов (течения воды). Но в отличие от тока в проводнике, в нашем случае наблюдается зависимость $\Delta\varphi$ от концентрации соли, т.е. от концентрации ионов натрия и хлора, что не

следует из формулы (2). Это различие обусловлено тем, что концентрация ионов натрия и хлора в воде на много порядков меньше, чем концентрация свободных электронов в проводнике.

Выводы

1. При пропускании дистиллированной, водопроводной и подсоленной воды через магнитное поле можно наблюдать образование поперечной разности потенциалов, аналогично случаю пропускания тока в проводнике, полупроводнике и проводящем растворе.

2. Экспериментальные данные свидетельствуют в пользу того, что образование поперечной разности потенциалов в потоке воды происходит в результате отклонения ионов натрия и хлора под действием силы Лоренца, а также ориентации дипольных моментов молекул воды по направлению действия силы Лоренца.

3. В отличие от тока в проводнике, поперечная разность потенциалов в потоке воды зависит от концентрации носителей тока в ней.

4. Вопрос о возможности эффективного использования магнитного поля для обессоливания воды требует дальнейших исследований.

Использованные источники:

1. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. - М.: Высшая школа, 2004. - 544 с.
2. Как используется эффект Холла: принципы явления и способы применения. [Электронный ресурс]. URL: <https://rusenergetics.ru/praktika/kak-ispolzuet-sya-effekt-xolla>.
3. Магнитогидродинамический эффект. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитогидродинамический_эффект.