УДК **577.352.5**

**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ**

**Томалак В.С., студент; Чашко М.В., к. т. н., доцент**

# *(Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина)*

Работа посвящена преобразованию электрической энергии в механическую в живых организмах. Актуальность темы обусловлена высоким КПД биологических электродвигателей и малым объемом на единицу мощности.

Преобразование электрической энергии в механическую происходит в мембране клетки. Биологический электромеханический преобразователь (рис. 1) содержит мембрану с каналами, диаметры которых равны или несколько больше диаметра иона. На поверхностях внешней и внутренней мембраны (по отношению к клетке, которую охватывает мембрана) сосредоточены ионы – калия, натрия, водорода, хлора – в разной концентрации, так что имеет место разность потенциалов *U*. Эта мембрана является «статором» привода. «Ротором» является белковая молекула, выступы которой расположены в каналах.

Под действием разности потенциалов ионы без трения перемещаются по каналам, взаимодействуя с выступами «ротора», т.е. давят на него с силой *F*. Под действием этой силы выступ перемещается со скоростью *v* в течение времени *t*. Так происходит преобразование энергии электрического потенциала *U* в механическую энергию *Fvt*. Плотность тока на расстояниях, не больших длины свободного пробега зарядов, определяется законом Ленгмюра [1, c.422]:

Рисунок 1 - Схема биологического электродвигателя.

Мембрана, «статор»

Элемент «ротора»

***U***

Канал в мембране

***F***

***v***

Ионы

***F***

***v***

 (1)

где *j* – плотность тока, А/м2; *е –* заряд иона, 1,6⋅10-19 Кл, А⋅с; ε0 – электрическая постоянная, 8,85⋅10-12 Ф/м; *l –* расстояние между поверхностями с разностью потенциалов *U*. У бактерий порядок этой величины 10-8м; *m* – масса иона: протона (атома водорода, Н+) – 1,67⋅10-24 г, натрия Na+– 38,2⋅10-24 г, калия K+ – 64,9⋅10-24 г.

После подстановки значений постоянных величин (ε0, *е, mПР*)

 (2)

*mИ* – масса иона, *mПР* – масса протона.

Механическая характеристика электродвигателя определяется из уравнений:

, (3)

. (4)

В них обозначено *ρИ* – плотность ионов, г/м3; *v* – скорость ионов, м/с; *f* – давление потока ионов на «ротор», Н/м2; *jИ* – плотность пока ионов, г/( с⋅м2).

Из этих уравнений следует

, (5)

где *vИ* – скорость ионов, *vР* – скорость «ротора».

Плотность тока ионов как частиц, обладающих массой *jИ*, получается из выражения для плотности тока зарядов (4), делением на значение элементарного заряда *е* и умножением на массу иона:

 (6)

Скорость ионов

. (7)

На основании уравнений (1) – (7)

, (8)

где *E=U/l* , .

На рис. 2 представлены внешняя *vP(f)* и регулировочная *f(Е)* характеристики биологического электродвигателя бактерии, где «рабочим телом» является поток протонов (*mИ= mПР*).

0

0,2

0,4

0,6

0,8

*vP/vИ*

0

0,2

0,4

0,6

0,8

*f/fУП*

а

скорость

давление

б

кН/м2

МВ/м

0

10

20

0

10

20

30

*E*

*fУП*

напряженность электрического поля

давление

Рисунок 2 - Характеристики биологического электродвигателя:

а – внешняя, б - регулировочная.

Из трафиков видно, что скорость снижается пропорционально увеличению давления, и давление пропорционально квадрату напряженности электрического поля. Биологические электродвигатели могут быть применены в макроустройствах в условиях космического пространства, где длина свободного пробега составляет сантиметры, а не десятки нанометров, как в мембране живой клетки.

Перечень ссылок

1. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М.: «Наука»,- 1968.-940 с.