

597—151:639.2.081.193

ЭМПИРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ПРИ РЕАКЦИЯХ РЫБ
НА ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Ю. М. Лосев

КаспНИРХ

В естественных условиях воздействие электрического поля на рыб, как известно, зависит от вида рыбы, ее размеров, ориентации относительно направленности поля, электропроводности воды, формы тела и множества других факторов, т. е.

$$E = f_1(L, \alpha, n, \gamma, \dots, t), \quad (1)$$

где E — скалярная величина напряженности однородного электрического поля, обуславливающая начало какой-либо характерной реакции рыбы на воздействие электрического тока, В/см;

L — длина рыбы, см;

α — угол между продольной осью тела рыбы и направлением силовых линий электрического поля, рад;

n — параметр, характеризующий вид реакции рыбы;

γ — удельная электропроводность воды и тела рыбы, мСм/м;

t — скорость нарастания напряженности электрического поля, В/см · с.

Выявление математической зависимости между E и перечисленными факторами позволит с научной точки зрения подходить к выбору оптимальных параметров поля перед орудием электролова.

По картине поля, снятой в электролитической ванне с модели электроподборы орудия лова, можно определить следующую функциональную зависимость:

$$E = f_2(S), \quad (2)$$

где S — расстояние по перпендикуляру к линии электроподборы, м.

Приравнивая правые части уравнения (1) и (2), получим:

$$f_2(S) = f_1(L, \alpha, n, \gamma, \dots, t). \quad (3)$$

Чтобы пользоваться уравнением (3), необходимо знать конкретные математические зависимости между пороговой напряженностью тела рыбы и перечисленными факторами. Особенно важно аналитически определять пороговые границы между характерными реакциями на электроток рыб, различно ориентированных по отношению к электрическому полю орудия лова, поэтому целью наших исследований было определить закономерности изменения функции E в зависимости от трех аргументов: длины рыбы L , угла между продольной осью тела рыбы и направлением силовых линий электрополя α и вида реакции рыбы на переменный электроток n .

При выборе места и объекта исследования учитывали, что электрический ток для лова рыбы в низовьях Волги наиболее целесообразно применять в прудовых хозяйствах, а также для задержания хищных и сорных рыб. Объектами лова были белый амур, толстолобик, сазан, карась, а также малоценные рыбы — окунь и красноперка в прудах Астраханского комбината прудовых хозяйств и лещ в дельте Волги на тоне «Глубокая». Всего воздействию электротока было подвергнуто около 400 рыб.

Перед началом работ измеряли электропроводность воды водоемов. Было установлено, что удельная электропроводность воды в дельте Волги по сезонам года существенно не изменяется. Наибольшая удельная электропроводность наблюдалась в апреле—августе (33,6—39,0 мСм/м), наименьшая — в сентябре—ноябре (25,0—33,0 мСм/м). Электропроводность воды в прудах Лиманского и Икрянинского прудовых хозяйств весной и в период наполнения водой близка к электропроводности воды Волги. С июля и до осушения электропроводность воды в них непрерывно возрастает. В период вылова рыбы из прудов (октябрь, ноябрь) отмечается максимальная удельная электропроводность воды, которая варьирует по разным прудам от 158 до 560 мСм/м.

Параметры электротока, вызывающие различные реакции рыб, определяли в однородном электрическом поле по обычной методике при удельных электропроводностях воды, наблюдавшихся в прудах и дельте Волги в период вылова из них рыбы.

На каждой из исследуемых рыб были получены следующие реакции: минимальная, возбуждения, угнетения, электронаркоз. Для каждой реакции определяли пороговые значения величины электрического поля. За пороговые принимали минимальные значения напряженности однородного электрического поля, при достижении которых рыбы отвечали одной из характерных реакций.

Работы проводили в деревянном аквариуме (1000×500×300 мм), изолированном с внутренней стороны резиновой клеенкой. Электроды были изготовлены из оцинкованной стали.

Для измерения угла α применяли прозрачную градусную шкалу.

Известно, что чувствительность рыбы к электротoku зависит от расположения продольной оси ее тела относительно силовых линий поля. Однако данные о закономерностях этого изменения отсутствуют. При исследовании этого вопроса мы получили зависимость, изображенную на рис. 1. Как видно из рис. 1, значение v при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ (кривая 1) близко к значению v на кривой 2 при $\alpha=0$; значение кривой 2 при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ близко к v на кривой 3 при $\alpha=0$; значение v на кривой 3 при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ — соответственно к v на кривой 4 при $\alpha=0$. Иначе говоря, изменение пороговой величины условного напряжения тела леща при изменении α от 0 до $\frac{\pi}{2}$ соответствует началу и концу любой рассматриваемой реакции. Аналогичные кривые были получены и для белого амура. Откладывая по оси абсцисс значения условного приведенного угла $\alpha_{пр}$

$$\alpha_{пр} = (n - 1) \frac{\pi}{2} + \alpha, \quad (4)$$

где n — параметр реакции, численно равный для минимальной реакции 1; возбуждения 2; угнетения 3; электронаркоза 4,

а по оси ординат условное напряжение тела рыбы u , получим общую для всех видов реакций кривую для леща ($t=23^{\circ}\text{C}$, $\gamma=41$ мСм/м, $L=29,1$ см) и белого амура $t=10^{\circ}\text{C}$, $\gamma=186$ мСм/м, $L=31,2$ см (рис. 2).

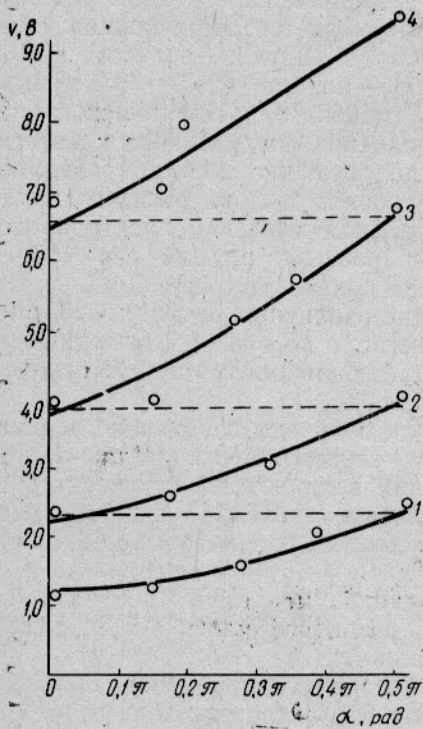


Рис. 1. Зависимость условного напряжения тела леща u от угла α :
1 — минимальная реакция; 2 — реакция возбуждения; 3 — реакция угнетения; 4 — электроразкоз.

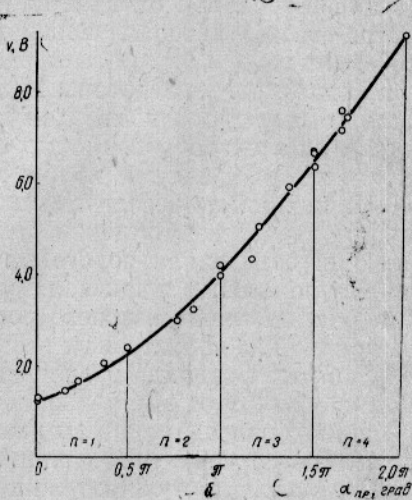
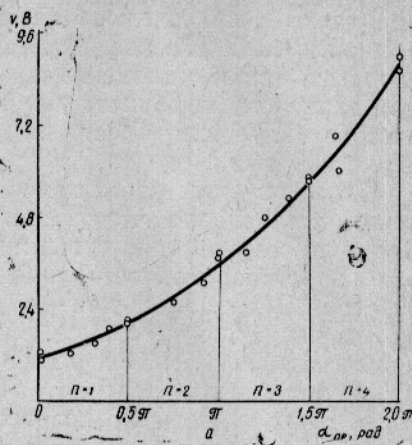


Рис. 2. Изменение условного напряжения u тела леща (а) и белого амура (б) в зависимости от условного приведенного угла $\alpha_{пр}$.

Эти кривые в общем виде выражаются уравнением:

$$u = u_1 e^{k_1 \alpha_{пр} + k_2 \alpha_{пр}^2} \quad (5)$$

где u_1 — условное напряжение тела рыбы, при котором наступает минимальная реакция, В;
 e — основание натуральных логарифмов;
 k_1, k_2 — коэффициенты, зависящие от вида, размера и условий содержания рыбы.

Для кривых рис. 2 были определены методом средних коэффициенты k_1 и k_2 . В результате было получено для леща длиной $29,1 \pm 3$ см при $\gamma=41$ мСм/м и $t=23^{\circ}\text{C}$:

$$u = 1,35 e^{0,312 \alpha_{пр} - 0,0006 \alpha_{пр}^2} \quad (6)$$

для белого амура при $L = 31,2 \pm 3,0$ см,

$t = 10^\circ \text{C}$ и $\gamma = 188$ мСм/м:

$$u = 0,8 e^{0,243\alpha_{\text{пр}} + 0,026\alpha_{\text{пр}}^2} \quad (7)$$

Если значения u , определенные по формулам (6) и (7), нанести на графики (см. рис. 2), то получим кривые, практически совпадающие с построенными по экспериментальным данным. Разделив левые и правые части уравнения (6) и (7) на длину рыбы, получим:

$$E = \frac{u}{L} 0,0464 e^{0,312\alpha_{\text{пр}} - 0,0006\alpha_{\text{пр}}^2};$$

$$E = \frac{u}{L} 0,0257 e^{0,243\alpha_{\text{пр}} + 0,026\alpha_{\text{пр}}^2};$$

где 0,0464 и 0,0257 — условные напряженности тела леща и белого амура, вызывающие минимальную реакцию.

Запишем эти уравнения в общем виде

$$E = E_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} \quad (8)$$

Уравнения (5) и (8) удобны для получения более сложных уравнений с тремя и более независимыми переменными (L , α , n). По В. А. Шентякову (1964),

$$u = a + bL \quad (9)$$

Если для рыбы длиной L_1

$$u = u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2},$$

а длиной L_2

$$u = u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2};$$

то на основании выражения (9) можно записать

$$u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} = a + bL_1; \quad (10)$$

$$u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2} = a + bL_2.$$

Решая эту систему уравнений, находим a и b и подставляем их в выражение (9). Тогда

$$u = \frac{u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2} (L_1 - L) + u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} (L - L_2)}{(L_1 - L_2)}; \quad (11)$$

или

$$E = \frac{u}{L} = \frac{u_1' e^{k_1' \alpha_{\text{пр}} + k_2' \alpha_{\text{пр}}^2} (L_1 - L) + u_1 e^{k_1 \alpha_{\text{пр}} + k_2 \alpha_{\text{пр}}^2} (L - L_2)}{(L_1 - L_2)L} \quad (12)$$

В таблице приведены коэффициенты k_1 , k_2 и значения u_1 , соответствующие двум размерам исследуемых рыб при различных γ и t . При помощи этой таблицы можно решать уравнения (11) и (12).

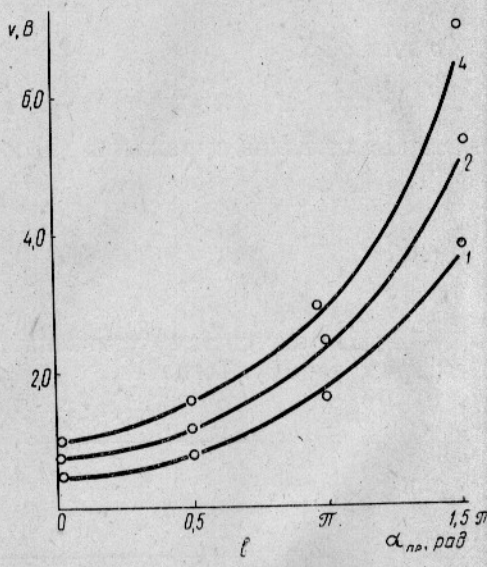
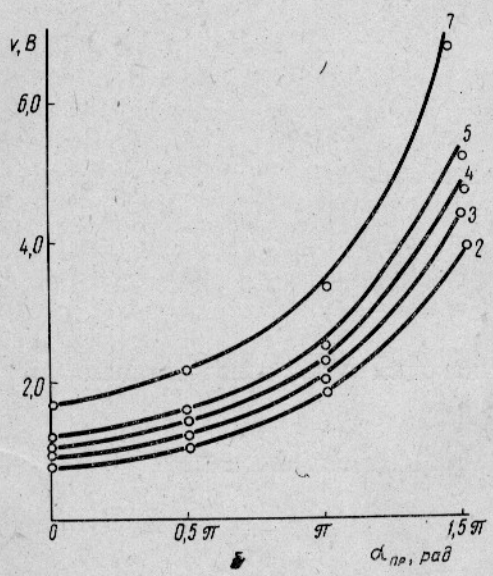
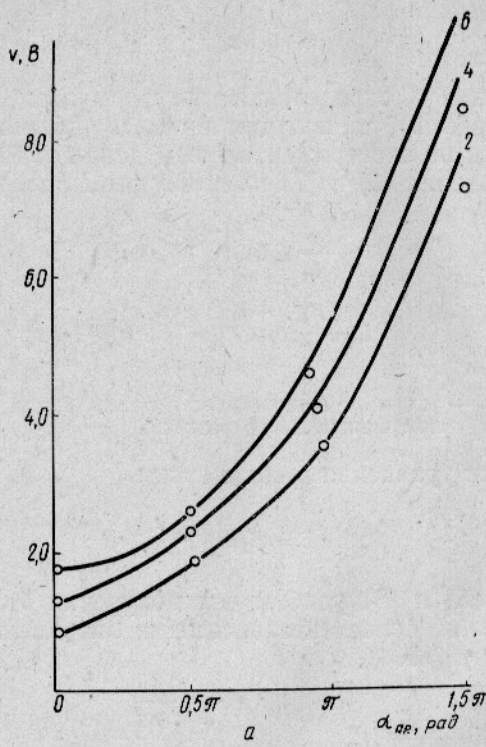


Рис. 3. Разброс экспериментальных точек по теоретическим кривым для леща при $t=24^{\circ}\text{C}$, $\gamma=40\text{ мСм/м}$ (а), сазана при $t=9,5^{\circ}\text{C}$, $\gamma=180\text{ мСм/м}$ (б) и караса при $t=20^{\circ}\text{C}$, $\gamma=197\text{ мСм/м}$ (в) различной длины (в см): 1 — 10; 2 — 20; 3 — 25; 4 — 30; 5 — 35; 6 — 40; 7 — 50 см.

Рыба	Условия эксперимента		Параметры уравнения			
	температура воды, °С	удельная электропроводность, мСм/м	длина рыбы, см	u_1, B	k_1	k_2
Сазан	22	184	20	0,84	0,3	0,018
			30	0,88	0,339	0,01
	9,5	180	20	0,76	0,103	0,0538
			30	1,06	0,111	0,0446
	5	180	20	0,84	0,1146	0,0365
			30	1,11	0,1159	0,038
Белый амур	4	172,5	20	0,57	0,535	-0,042
			30	0,87	0,432	-0,0269
	7	219,0	20	0,5	0,743	-0,0671
			30	0,75	0,759	-0,0706
	13	204,0	10	0,25	0,97	-0,11
			20	0,59	0,66	-0,0687
Толстолобик	11	188,0	30	0,75	0,208	0,0466
			40	1,17	0,1406	0,042
Карась	12	30,0	10	0,77	0,099	0,051
			20	0,77	0,144	0,046
	20	197,0	10	0,5	0,200	0,049
			20	0,74	0,208	0,048
Красноперка	22	62,4	10	0,52	0,582	-0,0314
			20	0,72	0,696	-0,054
Окунь	23	64,0	10	0,5	0,59	-0,048
			20	0,7	0,576	-0,0445
Лещ	24	40,0	25	1,03	0,43	0,00191
			35	1,50	0,221	0,043

На рис. 3 показан разброс точек (каждая точка получена из среднеарифметического значения 10—15 измерений), полученных экспериментально по кривым, построенным с помощью уравнения (11). Из этих графиков видно, что эти кривые удачно выражают закономерности в распределении экспериментальных точек. Максимальное отклонение между теоретическими и экспериментальными значениями условного напряжения тела для всех исследуемых рыб при различных $\alpha_{пр}$ и L не превышало 13%. Закономерности изменения k_1, k_2 от температуры и электропроводности воды не установлены. Подставив уравнение (12) в правую часть равенства (3) и пользуясь таблицей, можно выбрать оптимальные параметры электрического поля для вылова белого амура, толстолобика, сазана, карася, леща, красноперки и окуня.

Выводы

1. Выведена зависимость, которая с помощью понятия условного приведенного угла позволила связать условный параметр, характеризующий вид реакции рыбы на электроток, с углом, определяющим ориентированное положение тела рыбы в электрическом поле.

2. Энергетические затраты переменного электротока на приведение белого амура, сазана, толстолобика, карася, окуня, красноперки и леща в любую из четырех характерных реакций выражены эмпирическими уравнениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Шентяков В. А. Пресноводный электротраловый лов рыбы с применением переменного тока. «Пищевая промышленность», М., 1964. 82 с.

Нусенбаум Л. М., Г. И. Фалеева. Исследование поведения рыбы в электрическом поле. — «Известия ГОСНИОРХа», 1961, т. 52, вып. 1, 94 с.

SUMMARY

The relations of threshold values of a. c. voltage which may induce one of four characteristic responses in grass carp, carp, crucian carp, white amur, bream, bass, rudd and a parameter which determines the type of any specific response of fish to electric current as well as the size and position of the body of fish in the electric field, are described.

The notion of a quasi—relative angle which binds the parameter specifying the type of a response of fish to electric current with a simple mathematic expression with an angle showing the oriented position of the fish body in the electric field, is given.

The a. c. consumption needed to induce any of the four specific responses with regard to three variable factors, such as the parameter responsible for a certain type of reaction of fish to electric current, length and position of the body of fish in the electric field, is expressed by empirical equations.