

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ

В.Г. Андруш, канд. техн. наук, доцент, А.И. Федорчук, канд. техн. наук, доцент, А.Г. Филиппович, студент (БГАТУ)

### Аннотация

*В статье приводятся результаты исследования по повышению безопасности труда на животноводческих фермах АПК на основе применения устройств выравнивания электрических потенциалов.*

*The article presents the results of the research about improving safety on the livestock farms with the help of applying AIC devices alignment of electric potentials.*

### Введение

Установлено, что наиболее травмоопасными процессами молочного скотоводства являются приготовление и раздача кормов, доение коров, обслуживание животных. На эти процессы приходится 36 % несчастных случаев по АПК и самое высокое число случаев со смертельным исходом – более 43 %. В особую группу по тяжести исхода выделяют травмы, нанесенные электрическим током – 8,3 % от погибших в АПК [1, 2].

### Основная часть

Рассмотрим эффективность системы мер защиты от поражения электрическим током в специализированных зданиях животноводства для содержания крупного рогатого скота на основе устройств выравнивания и уравнивания электрических потенциалов (УВЭП) [3, 4], учитывая, что животные более уязвимы к действию электрического тока, чем человек.

Поэтому в таких зданиях применяют УВЭП, содержащие металлические стержневые или протяженные элементы, электрически соединенные с технологическим оборудованием и строительными металлоконструкциями, доступными для прикосновения животных, и установленные в токопроводящем полу стойл, отделенных в горизонтальном направлении от зоны нулевого потенциала участком с высоким удельным сопротивлением [5].

Стержни УВЭП погружают в землю под стойла вдоль их внешней стороны с разряжением в каждом ряду от периферии к центру. Длина каждого стержня должна быть не менее 0,5 длины стойла. Погружают их в землю под углом 35-50° к поверхности пола стойл. Смещение внешних концов стержней от внешней стороны стойла не более 0,5 длины стойла. Расстояния между соседними стержнями  $a_i$  увеличивают от периферии к центру по арифметической прогрессии

$$a_i = a_1 + (i - 1) \cdot b, \quad (1)$$

где  $a_1$  – удвоенная ширина стойла, м;

$i$  – порядковый номер расстояния между стержнями;

$b$  – ширина стойла, м.

Вместе с тем при выполнении УВЭП наряду со снижением потенциала на металлоконструкциях, оказавшихся под напряжением, возникают и отрицательные явления, связанные с появлением потенциала на поверхности пола (земли) вокруг места стекания тока в землю. Возникающие при этом разности потенциалов отдельных точек цепи тока, в том числе точек на поверхности земли, могут достигать больших значений, представляющих собой опасность для человека (животного).

С этой целью рассмотрим стержневой заземлитель круглого сечения длиной  $l$  (м) и диаметром  $d$  (м), погруженный в землю так, чтобы его верхний конец был на уровне земли. С заземлителя стекает ток  $I_3$  (А). Необходимо найти выражения для потенциала точек на поверхности земли и для потенциала заземлителя.

Разбиваем заземлитель по длине на бесконечно малые участки длиной каждый  $dy$  (м) и уподобляем их элементарным шаровым заземлителям диаметром  $dy$  (м).

С каждого такого участка в землю стекает ток

$$dI_3 = \frac{I_3 dy}{l}, \quad (2)$$

который обуславливает возникновение элементарного потенциала  $d\phi$  (В) в некоторой точке земли.

Нас интересует точка  $A$  на поверхности земли, отстоящая от оси стержневого заземлителя на расстоянии  $x$  (м).

Потенциал этой точки, обусловленный одним элементарным шаровым заземлителем, будет

$$d\phi = \frac{dI_3 \rho}{2\pi m}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м;

$m$  – расстояние от середины стержня до точки  $A$ , м.

Учитывая, что расстояние  $m = \sqrt{x^2 + y^2}$ , и заменяя  $dI_3$  его значением, получаем:

$$d\varphi = \frac{I_3 \rho dy}{2\pi l \sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (4)$$

где  $x, y$  – координаты точки  $A$ , м.

Интегрируя это уравнение по всей длине стержневого заземлителя (от 0 до  $l$ ), получим искомое уравнение для потенциала точки  $A$ , т.е. уравнение потенциальной кривой:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \int \frac{dy}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{x^2 + y^2} + l}{x}. \quad (5)$$

Потенциал заземлителя  $\varphi_3, B$ , будет при  $x = 0,5d$ , м, т.е.

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{\sqrt{0,5d^2 + l^2} + l}{0,5d}, \quad (6)$$

Здесь  $0,5d \ll l$ , следовательно, первым слагаемым под корнем можно пренебречь. Тогда это уравнение примет вид:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{d}. \quad (7)$$

По условиям безопасности заземление, каким является по существу УВЭП, должно обладать сравнительно малым сопротивлением, обеспечить которое можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя (электрода) или применением нескольких параллельно соединенных между собой электродов, именуемых в совокупности групповым заземлителем.

Элементарный подсчет показывает, что второй путь во много раз экономнее по затрате металла и другим условиям. Кроме того, при нескольких электродах можно выровнять потенциальную кривую на территории, где они размещаются, что в ряде случаев, в том числе и при выполнении УВЭП, играет решающую роль в обеспечении безопасности.

Очевидно, что потенциал каждого электрода группового заземлителя состоит из собственного потенциала, обусловленного стеканием через него тока, и потенциалов, наведенных на нем полями других электродов, т.е.

$$\varphi_{гр.} = \varphi_{01} + \sum_2^n \varphi_n \quad (8)$$

где  $\varphi_{01}$  – собственный потенциал первого электрода,  $B$ ;

$n$  – количество электродов;

$\varphi_n$  – потенциал, наведенный на первом электроде одним из соседних,  $B$ . Он определяется по уравнению

потенциальной кривой этого соседнего электрода с учетом расстояния между ними.

Если электроды группового заземлителя расположены на одинаковых расстояниях один от одного (а это может быть только при двух электродах или трех, размещенных в вершинах равностороннего треугольника), то у них оказываются одинаковыми не только собственные потенциалы  $\varphi_0$ , но и потенциалы, наводимые каждым из них на другие электроды  $\varphi_n$ . Для этих частных случаев уравнение принимает вид:

$$\varphi_{зр} = \varphi_0 + (n-1) \varphi_n, \quad (9)$$

Напряжение прикосновения будет:

$$U_{np} = \varphi_3 - \varphi_{oc}, \quad (10)$$

где  $\varphi_{oc}$  – потенциал основания, на котором стоит человек (животное).

Или

$$U_{np} = \varphi_3 \alpha_1, \quad (11)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент, называемый коэффициентом напряжения прикосновения или просто коэффициентом прикосновения, учитывающим форму потенциальной кривой:

$$\alpha_1 = (1 - \varphi_{oc} / \varphi_3) \leq 1. \quad (12)$$

Ток, стекающий в землю через человека (животное), стоящего на земле, полу и другом основании, преодолевает сопротивление не только тела человека (животного), но и сопротивление этого основания, вернее, тех его участков, с которыми имеют контакт подошвы ног человека (животного).

Следовательно, разность потенциалов  $\varphi_3 - \varphi_{oc}$ , равная  $\varphi_3 \alpha_1, B$ , оказывается приложенной не только к сопротивлению тела человека (животного)  $R_h$ , Ом, но и к последовательно соединенному с ним сопротивлению основания  $R_{oc}$ , Ом, на котором стоит человек (животное), т.е.

$$\varphi_3 \alpha_1 = I_h (R_h + R_{oc}). \quad (13)$$

Заменив в этом выражении ток  $I_h$  (А), проходящий через человека (животное), его значением, получим:

$$\varphi_3 \alpha_1 = U_{np} \frac{R_h + R_{oc}}{R_h}, \quad (14)$$

откуда напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания,  $B$ :

$$U_{np} = \frac{\varphi_3 \alpha_1 R_h}{R_h + R_{oc}}, \quad (15)$$

или

$$U_{np} = \varphi_3 \alpha_1 \alpha_2, \quad (16)$$

Здесь  $\alpha_2$  – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек (животное):

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + (R'_{oc} / R_h)}, \quad (17)$$

В области защитных устройств от поражения током – заземления, зануления и др. – интерес представляют также напряжения между точками на поверхности земли (или иного основания, на котором стоит человек) в зоне растекания тока с заземлителя. В этом случае напряжением шага будет являться разность потенциалов  $\varphi_x$ , В, и  $\varphi_{x+a}$ , В, двух точек на поверхности земли (пола) в зоне растекания тока, которые находятся на расстоянии  $x$  и  $(x + a)$  от заземлителя, а одна от другой на расстоянии шага и на которых одновременно стоит человек (животное). Таким образом, напряжение шага будет (В):

$$U_{ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a}, \quad (18)$$

Поскольку  $\varphi_x$  и  $\varphi_{x+a}$  являются частями потенциала заземлителя  $\varphi_3$ , разность их также есть часть этого потенциала. Поэтому мы вправе записать так:

$$U_{ш} = \varphi_3 \beta_1, \quad (19)$$

где  $\beta_1$  – коэффициент напряжения шага или просто коэффициент шага, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\beta_1 = \frac{\varphi_x - \varphi_{x+a}}{\varphi_3} < 1, \quad (20)$$

Как и в случае напряжения прикосновения, разность потенциалов между двумя точками, на которых стоит человек (животное), т.е.  $\varphi_3 \beta_1 = \varphi_x - \varphi_{x+a}$ , В, делится между сопротивлением тела человека (животного) и последовательно соединенным с ним сопротивлением растеканию основания, на котором он стоит  $R'_{oc}$  (Ом).

В данном случае сопротивление основания складывается из двух последовательно соединенных сопротивлений растеканию ног человека (животного):  $R'_{oc} = 2R_h$ .

Следовательно

$$\varphi_3 \beta_1 = I_h (R_h + R'_{oc}) = U_{ш} \frac{R_h + 2R_h}{R_h}, \quad (21)$$

откуда напряжение шага:

$$U_{ш} = \frac{\varphi_3 \beta_1 R_h}{R_h + 2R_h}, \quad (22)$$

Или

$$U_{ш} = \varphi_3 \beta_1 \beta_2, \quad (23)$$

где  $\beta_2$  – коэффициент напряжения шага, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек (животное):

$$\beta_2 = \frac{1}{1 + (2R_h / R_h)}. \quad (24)$$

При выполнении УВЭП стержнями с разрежением к центру могут возникнуть ситуации, при которых выравнивание потенциалов может быть недостаточным для животных (человека), находящихся ближе к середине помещения фермы КРС.

Рассмотрим эти ситуации, пользуясь зависимостями, приведенными выше, на примере четырехрядного коровника на 200 голов размером 21×78 м, в котором стойла шириной 1,2 м и длиной 1,9 м, также имеются два кормовых прохода шириной 2,25 м и три навозных прохода – два пристенных шириной 1,3 м и один в середине помещения (по длине) шириной 2,5 м.

В коровнике должно быть смонтировано в каждом ряду по 13 стержневых заземлителей, в целом по зданию –  $n = 52$ . Длина каждого стержня  $l$  должна быть не менее 0,5 длины стойла, т.е. в нашем случае принимаем  $l = 1$  м ( $> 1,9/2$  м). Диаметр стержней  $d$  выбирается с учетом удельного электрического сопротивления грунта  $\rho$  (коррозийной активности грунта), а для существующих животноводческих помещений –  $d$  не менее 12 мм при использовании неоцинкованной стали. Таким образом расчет выполняем при  $\rho = 5; 10; 20; 60; 70; 100; 140$  Ом·м со стержнями выравнивающего устройства из неоцинкованной стали диаметром 12...18 мм.

Для данного коровника на 200 голов получаем, что максимальное расстояние будет между пятым и шестым, восьмым и девятым стержнями каждого ряда, между которыми насчитывается по 6 стойл, т.е.  $6 \cdot 1,2 = 7,2$  м. Максимальное напряжение прикосновения и напряжение шага будет воздействовать на коров, стоящих посередине этих промежутков, а расстояние до задних ног коровы равно 4,1 м.

Предполагаем, что на металлоконструкции попадает фазное напряжение ( $U_3 = U_\phi = 220$  В) вследствие неэффективного срабатывания зануления при замыкании фазы на открытые проводящие части, или в нарушение требований безопасности при выполнении в коровнике электросварочных работ с неисправным устройством снятия напряжения при разрыве дуги (что наблюдается достаточно часто), а также в некоторых других случаях.

Полученные в результате расчета данные по проверке эффективности выравнивания электрических потенциалов с помощью стержневых заземлителей на примере коровника на 200 голов сводим в таблицу 1.

Как видно из таблицы 1, для принятых исходных данных напряжение прикосновения превышает допустимое значение (12В) при удельном электрическом сопротивлении грунта  $\rho > 60$  Ом·м.

**Таблица 1. Показатели эффективности УВЭП**

| $\rho$ , Ом·м | $d$ , м | $R_1$ , Ом | $R_n$ , Ом | $I_3$ , А | $\varphi_x$ , В | $U_{пр}$ , В | $U_{ш}$ , В |
|---------------|---------|------------|------------|-----------|-----------------|--------------|-------------|
| 5             | 0,018   | 4,04       | 0,15       | 53,0      | 10,1            | 1,4          | 0,8         |
| 10            | 0,018   | 8,08       | 0,30       | 51,2      | 19,6            | 2,7          | 1,6         |
| 20            | 0,014   | 16,9       | 0,61       | 47,7      | 36,5            | 5,1          | 2,9         |
| 60            | 0,014   | 50,7       | 1,83       | 37,7      | 86,4            | 12,1         | 6,9         |
| 70            | 0,014   | 59,1       | 2,23       | 35,1      | 93,9            | 13,1         | 7,5         |
| 100           | 0,014   | 84,5       | 3,19       | 30,6      | 116,9           | 16,4         | 9,4         |
| 140           | 0,012   | 121,9      | 4,6        | 25,6      | 137,0           | 19,2         | 11,0        |

**Заключение**

Эффективность защиты животных от поражения электрическим током путем выполнения УВЭП из стержневых заземлителей с увеличением расстояния между ними от периферии к центру по арифметической прогрессии не всегда может быть обеспечена, и при известных параметрах УВЭП зависит, в первую очередь, от удельного электрического сопротивления грунта в месте строительства.

Результаты данного исследования целесообразно учитывать при уточнении (разработке) соответствующих нормативных документов (ТКП) в области обеспечения безопасности производственных процессов животноводческой отрасли.

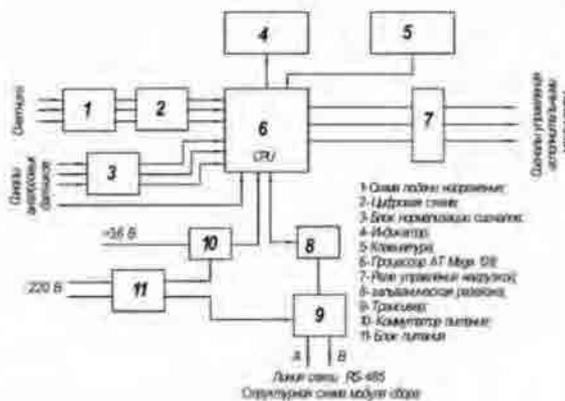
**ЛИТЕРАТУРА**

1. Пиуновский, И.И. Проблема травматизма с тяжелым и смертельным исходом в агропромышленном комплексе / И.И. Пиуновский, В.И. Володкевич, А.В. Молош // Охрана труда. Сельское хозяйство, 2012. – №1. – С. 66-77.
2. Федорчук, А.И. К вопросу прогнозирования производственно-обусловленной заболеваемости в сельскохозяйственных организациях / А.И. Федорчук, В.Г. Андруш // Агропанорама, 2013. – №4. – С. 31-33.
3. Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током. Общие требования: ТКП 538-2014 (02150).
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: ТКП 181-2009 (02230).
5. Андруш, В.Г. Совершенствование устройства выравнивания электрических потенциалов на ферме КРС / В.Г. Андруш, Е.В. Станкевич // Материалы Междунар. науч.-практич. конф. «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве», 23-24 октября 2014 г. – Минск: БГАТУ, 2014. – С. 237-238.

**Автоматизированная система учета расхода газа**

*Предназначена* для сбора, обработки и представления информации о расходе газа.

Система позволяет в режиме реального времени контролировать расход газа, принимая информацию от первичных датчиков, в качестве которых используются серийные ультразвуковые счетчики производства СОО «МЗЭП-1» г. Брест, и передавая ее на управляющий компьютер.



**Основные технические данные**

| Наименование технико-экономических показателей                | Ед. изм. | Значение показателей |
|---|----------|----------------------|
| 1. Снижение производственного брака                           | %        | 15                   |
| 2. Устранение ручной подготовки и сопровождения документов    | %        | 90                   |
| 3. Снижение расхода энергетических ресурсов                   | %        | 7                    |
| 4. Количество одновременно опрашиваемых источников информации | шт.      | 32                   |
| 5. Скорость обмена информации                                 | Мбит/с   | 1-10                 |
| 6. Предельная дальность                                       | м        | 120-1200             |