

УДК [621.3:537.8]:631.234

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КАЛИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПОЧВАХ

**Ю.Н. Куценко**, к.т.н. доцент, **Д.Н. Нестерчук**, к. т.н. доцент  
**Д.Н. Коваль**, ассистент

*Таврический государственный агротехнологический университет*

В работе проведены экспериментальные исследования образцов почв с искусственно созданной концентрацией раствора калийных удобрений. Определены зависимости распределения электрических полей в почвах между концентрацией калия в почвенных образцах и параметрами электрического поля.

In experimental studies of soil samples with artificial concentration of the solution of potash. The dependences of the distribution of electric fields in the soil between the concentration of potassium in the soil samples and the parameters of the electric field.

**Ключевые слова:** электрическое поле, система электродов, калийные удобрения, почва.

**Key words:** electric field, electrode system, potash fertilizers, soil.

**Постановка проблемы.** Растения в процессе питания усваивают, прежде всего, подвижные формы удобрений: калий почвенного раствора, обменный калий и, наконец, необменные формы. Поэтому при оценке плодородия почвы необходимо учитывать не только калий почвенного раствора и обменный калий, но и необменные формы, являющиеся резервом для развития растений [6]. Для достаточно быстрого определения содержания калия в почве необходимо экспериментально определить зависимости концентраций калийных удобрений и разности потенциалов электрического поля. Полученные зависимости могут быть использованы для разработки устройств быстрой оценки количества калийных удобрений.

**Анализ последних исследований.** Для оценки степени обеспечения почв калием используют, как правило, содержание обменного калия. На сегодня учеными установлена определенная зависимость использования растениями калия в почве от содержания его обменной формы [1,5]. В зависимости от формы калия существуют различные агрохимические методы его определения в почве, что требует разного количества химических компонентов реактивов [3].

Для определения точной фиксации реальной пространственной неоднородности элементов питания предлагается метод прямого определения их в почвенном растворе.

Потенциометрия с использованием ион-селективных электродов дает возможность определять активную часть химических соединений в растворе, непосредственно вступающую в химические реакции и доступные для поглощения корневой системой растений [2].

Целью данных исследований является нахождение зависимости между концентрацией калия в почвенных образцах и параметрами электрического поля, в частности, значения потенциалов в различных точках образцов в зависимости от концентрации.

В таблице 1 приведены основные характеристики калийных удобрений, применяемых в сельском хозяйстве [3].

Таблица 1 – Основные калийные удобрения и их свойства

Калийное удобрение	Содержание веществ	Нормы и способы внесения	Примечание
1	2	3	4
Хлористый калий (KCl с примесью NaCl)	Основное калийное удобрение – это мелкокристаллическое вещество, состоящее из разовых кристаллов. Содержит 52...60 % действующего вещества калия.	Все удобрения, содержащие хлор, лучше вносить в почву задолго до посева – осенью при перекапывании. Данное удобрение вносится в дозе 15 ... 20 г на 1 м <sup>2</sup> .	Применяется для различных почв и под все плодовые и ягодные культуры. Калий хорошо поглощается почвой и не вымывается из нее.
Сернокислый калий (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Наилучшее высококонцентрированное калийное удобрение, которое содержит 45 ... 50 % этого элемента и не содержит хлора. Содержит небольшое количество магния (3 %) и кальция (0,4 %), что увеличивает его ценность, а также 18 % серы	Применяется как осенью, перед перекапыванием сада, так и весной и летом при подкормке в дозе 20 ... 25 г на 1 м <sup>2</sup>	Эффективен для всех почв. Особенно пригоден для культур, чувствительных к хлору (картофель, бобы, фасоль). Рекомендуются для овощей семейства крестоцветных (капуста, репа, редис и редька)
Калийная соль	Содержит 40 % действующего вещества, а также хлор	Применяется для осеннего внесения под все плодовые и ягодные культуры в качестве основного удобрения из расчета 30...40 г на 1 м <sup>2</sup>	Весной и летом применять калийную соль не рекомендуется

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Калийная селитра	Калийно-азотное удобрение, содержащее 38 % калия и 13 % азота	Это наилучшее удобрение для подкормки растений в теплицах дозой 18...36 г/м <sup>2</sup>	Хорошо растворяется в воде и хранится
Калий углекислый (поташ) K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Содержит 55 % оксида калия и не содержит хлора		Рекомендуется для кислых почв
Калимагнезия (сульфат калия-магния) (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> * MgSO <sub>4</sub> )	Калийно-магниевое удобрение, содержащее 26...28 % калия и 16 % магния	Применяется как основная заправка и как подкормка в дозе 25...30 г на 1 м <sup>2</sup>	Очень эффективное для легких песчаников. Растворяется с осадком
Древесная зола	Наиболее доступное минеральные удобрения. В составе макроэлементы: калий, кальций, магний, фосфор, а также микроэлементы: железо, бор, медь	Золу вносят в любое время года: осенью под перекапыванием, весной – при посадке, летом – в качестве сухих и жидких подкормок	Это удобрение полезно для картофеля, корнеплодов, капусты, смородины. Так как в золе много кальция, то ее можно использовать для снижения кислотности и нейтрализации почвы

На основе рассмотренных видов удобрений для искусственного создания необходимых концентраций принимается к применению хлористый калий. Для проведения необходимого эксперимента он имеет следующие преимущества:

- среди рассмотренных удобрений имеет наибольшее содержание калия от 52 до 60 %;
- имеет простой химический состав и только одно балластное вещество – хлор, составляет примерно 40 %;
- это удобрение подходит ко всем видам почв;
- калий в составе данного удобрения хорошо поглощается почвой и не вымывается из нее.

Для того чтобы получать не только хороший урожай, но и предотвратить опасность передозировки, следует определять норму (дозу) внесения удобрений. Для проведения экспериментальных ис-

следований была рассчитана необходимая доза данного удобрения в почвенные образцы. Использован метод, основанный на подсчете выноса питающих элементов из почвы с урожаем овощей и возвращения их вместе с удобрениями (балансовый метод).

Овощи, как и любые другие растения, на создание килограмма урожая используют из почвы определенное количество элементов питания. При этом учитывается не только содержание элементов в урожае, но и все расходы элементов на рост и развитие. Зная прогнозируемую урожайность, можно определить, сколько всего выносит овощ основных элементов питания из почвы с определенной площади. В таблице 2 приведены основные данные об огородных культурах, которые выносят большое количество калия (более 30 г) на единицу площади.

Таблица 2 – Данные о выносе основных элементов питания огородными культурами

Культура	Вынос, г/кг			Урожайность, кг/м <sup>2</sup>	Вынос, г/м <sup>2</sup>		
	азот	фосфор	калий		азот	фосфор	калий
Бобовые	9	4,7	10	3	27	14	30
Брокколи	8	5	20	2,5	20	13	50
Брюква	4	0,8	4,5	7	28	6	32
Горох	8	5	12	3	24	15	36
Капуста цветная	6	2,5	11,5	3	18	8	35
Кабачок	3	1,0	5,5	7	21	7	39
Картофель	5	1,6	8	4	20	6	32
Перец	5,5	1,5	7,5	5	28	8	38

Как видно из таблицы 2, наибольшее количество калия на единицу площади выносит такая овощная культура, как брокколи, поэтому расчет дозы удобрений был проведен, исходя из выноса калия для этой культуры.

Было бы неверно просто вернуть с удобрениями элементы питания, которые выносятся, в полном объеме. Они присутствуют также и в почве, даже в самой неплодородной, и если их не учитывать, то может быть передозировка. Для брокколи необходимость внесения калия при выносе из почвы 50 г калия на 1 м<sup>2</sup>, при содержании в базовом образце почвы 100 мг калия на 1 кг почвы, т.е. приблизительно 20 г на 1 м<sup>2</sup> на почвенном горизонте 0 ... 20 см и коэффициенте использования минеральных удобрений 60 % количество необходимого удобрения

ния на единицу площади равно 50 г (калий). Но вынос - это еще не все. Необходимо заботиться также и о повышении общего плодородия почвы, т.е. не только возвращать потребленные вещества, но и вносить их дополнительно. Калия можно вносить в 1,5 раза больше. Количество удобрения с учетом процентного содержания калия составляет 83,3 г (хлористый калий). Поскольку расчет проведен для наиболее требовательной к калию культуры, будем считать данное количество удобрения за двойную, а нормативным принимаем 40 г на 1 м<sup>2</sup>.

Следует отметить, что для эксперимента использовались емкости из материала, который по структуре является парамагнетиком и электрическим изолятором. В каждую емкость помещалась почва с различным количеством удобрений. При этом количество почвы было одинаково - 4500 г. Площадь поверхности почвы в емкости составляла 0,028 м<sup>2</sup>, и соответственно этому пересчитывалось количество удобрений, вносимого в каждую из емкостей. Таким образом, слой почвы в емкости составлял 15 см. В данном эксперименте было принято целесообразным исследование образцов почвы, содержащих от 0,5 до 2 нормированных доз внесения, а также образцы без внесения калийного удобрения (контроль).

Для достижения равномерного распределения удобрения во всем объеме образцы почв были измельчены до равномерных фракций размером от 2 до 4 мм. Следует отметить, что удобрение в виде порошка растворялось и тщательно перемешивалось в дистиллированной воде с целью предотвращения погрешностей, к которым могут привести химические примеси в составе воды. Количество воды для всех образцов было одинаковым. Вода добавлялась в почвенные образцы, благодаря чему достигалась одинаковая плотность и относительная влажность почвы – это факторы, которые могут серьезно повлиять на электрическую проводимость и распределение электрического поля внутри почвенного образца.

В таблице 3 приведен расчет массы удобрения, которая вносилась в образцы в зависимости от относительной концентрации удобрения.

Таблица 3 – Расчет доз внесения удобрений в образец

Количество хлористого калия	Без внесения (контроль)	0,5 нормы	норма	1,5 нормы	2 нормы
	0	0,5N	1N	1,5N	2N
на 1 м <sup>2</sup> почвы	0	20	40	60	80
на площадь в емкости с образцом	0	0,55	1,15	1,70	2,25

Для проведения экспериментальных исследований была разработана экспериментальная установка, общий вид которой представлен на рисунке 1.

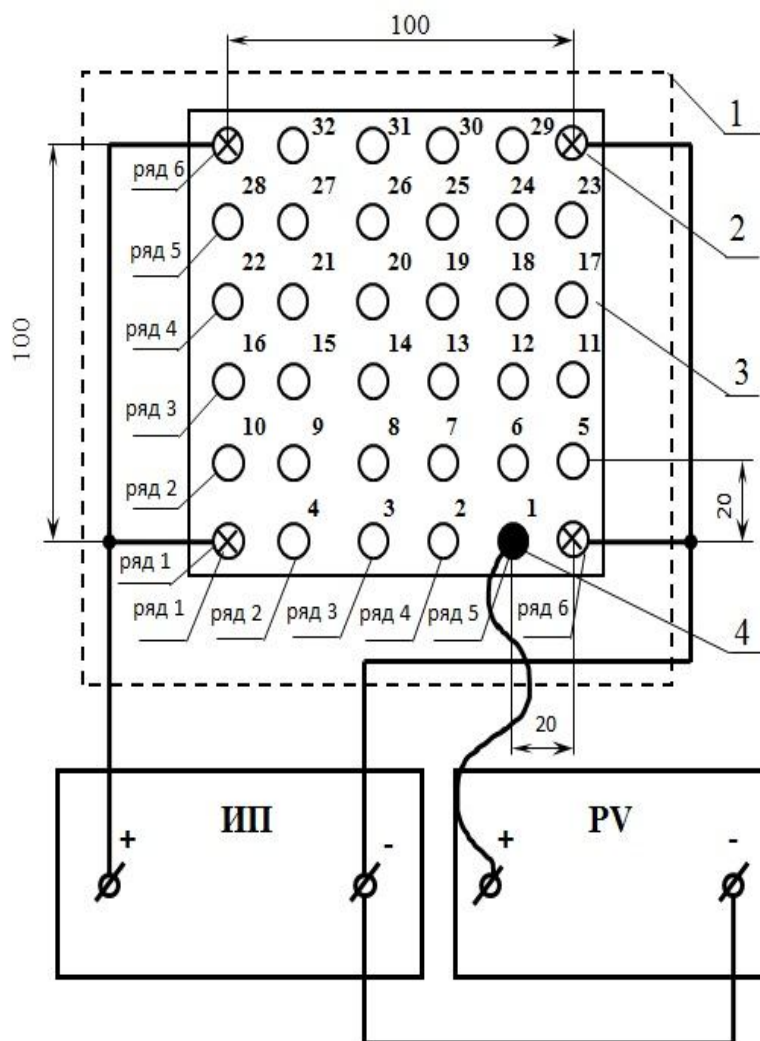


Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки с зондированием потенциалов в почвенных образцах: 1 - емкость с почвой; 2 - электроды, создающие электрическое поле; 3 – шаблон; 4 - контрольный электрод; ИП – источник питания; PV - цифровой вольтметр

Шаблон выполнен из немагнитного электроизоляционного материала. Четыре неподвижно закрепленные стальные электроды имеют длину 0,2 м и диаметр 6 мм расположенных в вершинах квадрата со стороной 0,1 м и соединены попарно. Электроды подключены к источнику питания электрического постоянного тока и погружены в почву, которая расположена в немагнитной электроизоляционной емкости, на глубину 150 мм. Зондирование выполнялось с помощью контрольного измерительного электрода, выполненного из стали длиной 0,4 м и диаметром 5 мм. Измерительный электрод контролировал

разность потенциалов между различными точками почвенного образца и электродами. Результаты измерений были представлены на цифровом вольтметре.

Рассмотрим принцип действия экспериментальной установки. От источника питания постоянного тока к электродам подводилось напряжение  $30 \pm 0,3$  В. Electroды, как отмечалось выше, соединены попарно, в пространстве между ними создавалось потенциальное постоянное электрическое поле. Зондирование разности потенциалов выполнялось в точках, расположенных в пределах квадрата  $100 \times 100$  мм с шагом 20 мм по вертикали и горизонтали. Измерения выполнялись с использованием стального измерительного электрода, который погружался на глубину 100 мм в почву. Для контроля показаний использовался цифровой вольтметр-регистратор. Продолжительность каждого измерения составляла 60 секунд для достижения установленного режима протекания электрического тока.

Измерения проводились в последовательности, показанной на рис. 1. Данные экспериментальных исследований приведены в таблицах 4...8.

Таблица 4 – Результаты измерений в емкости без внесения удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	8,94	12,9	16,7	21,4	30,2	
5,33	10,2	14,2	17,6	22,6	24,7	
7,63	10,3	14,2	17,4	20,4	22,4	
7,6	9,5	13,0	16,7	20,1	21,7	
6,6	9,7	13,2	17,2	20,3	21,9	
0	8,7	14,2	17,6	20,1	30,2	

Таблица 5 – Результаты измерений в емкости при внесении 50 % норм удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	10,2	14	17,4	21,0	30,2	
8,4	10,4	14,1	17,2	20,7	31,5	
9,82	11,6	14,4	17,7	20,6	23,5	
10,2	12,3	15,6	18,2	20,6	22,6	
9,47	11,6	15,1	18,4	21,1	23,5	
0	11,3	15,5	19	22,7	30,2	

Таблица 6 – Результаты измерений в емкости при внесении 100 % нормы удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	7,9	11,7	15,0	19,1	30,2	
3,9	8,4	12,0	15,3	19,3	24,6	
6,9	9,3	12,6	15,8	18,4	21,1	
7,09	9,43	12,7	15,9	18,5	20,7	
6,04	8,5	11,8	15,8	19,4	22,7	
0	7,4	11,9	15,7	21,9	30,2	

Таблица 7 – Результаты измерений в емкости при внесении 150 % нормы удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	9,7	14,3	17,4	21,6	30,2	
7,9	11,6	15,1	18,2	21,4	25,9	
10,3	12,6	15,0	18,8	21,3	24,0	
10,2	12,0	14,8	17,9	21,0	23,7	
8,7	11,4	14,8	18,2	21,6	24,7	
0	10,7	14,7	18,6	23,8	30,2	

Таблица 8 – Результаты измерений в емкости при внесении 200 % нормы удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	17,3	19,8	22,3	25,6	30,2	
13,3	15,9	19,3	21,7	24,6	27,1	
13,6	16,0	17,8	20,4	23,2	24,9	
13,5	15,2	17,3	20,4	22,6	24,0	
12,1	14,2	17,5	20,0	22,3	23,9	
0	12,2	15,8	19,6	25,4	30,2	

Анализ полученных экспериментальных данных позволил построить графики зависимостей разности потенциалов в разных точках почвы по горизонтальным рядам точек измерения в образцах от концентраций калийного удобрения. Полученные графические зависимости приведены на рисунках 2...7 [4].



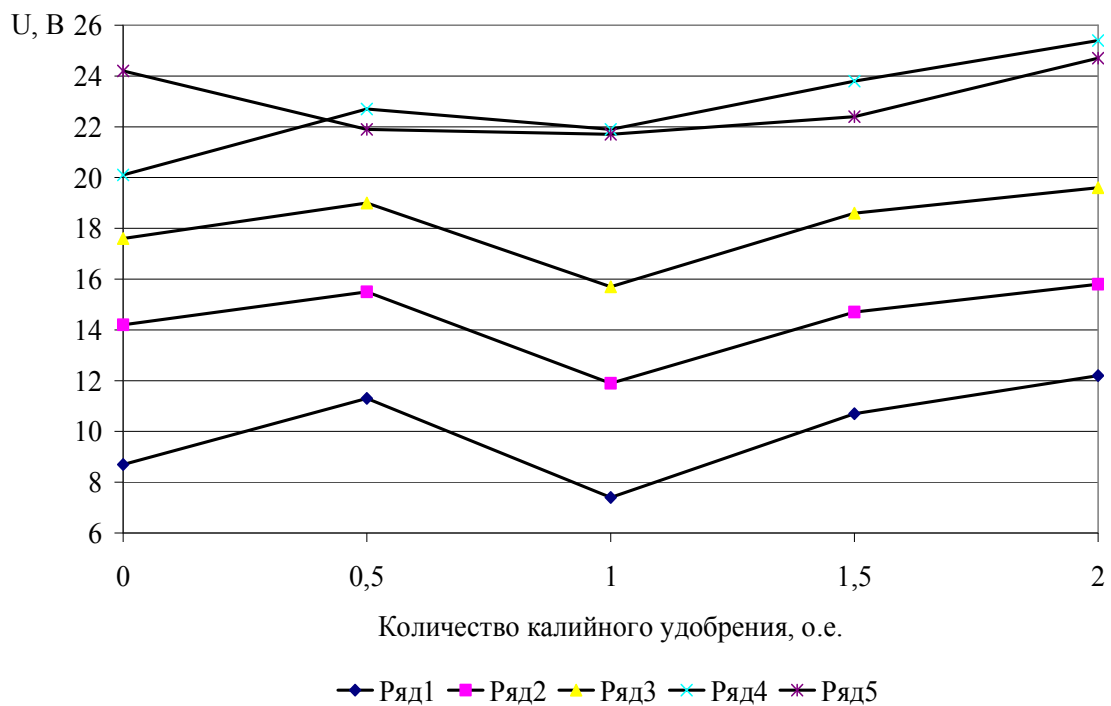


Рисунок 2 – Графические зависимости разности потенциалов для точек, расположенных в третьем ряду образца

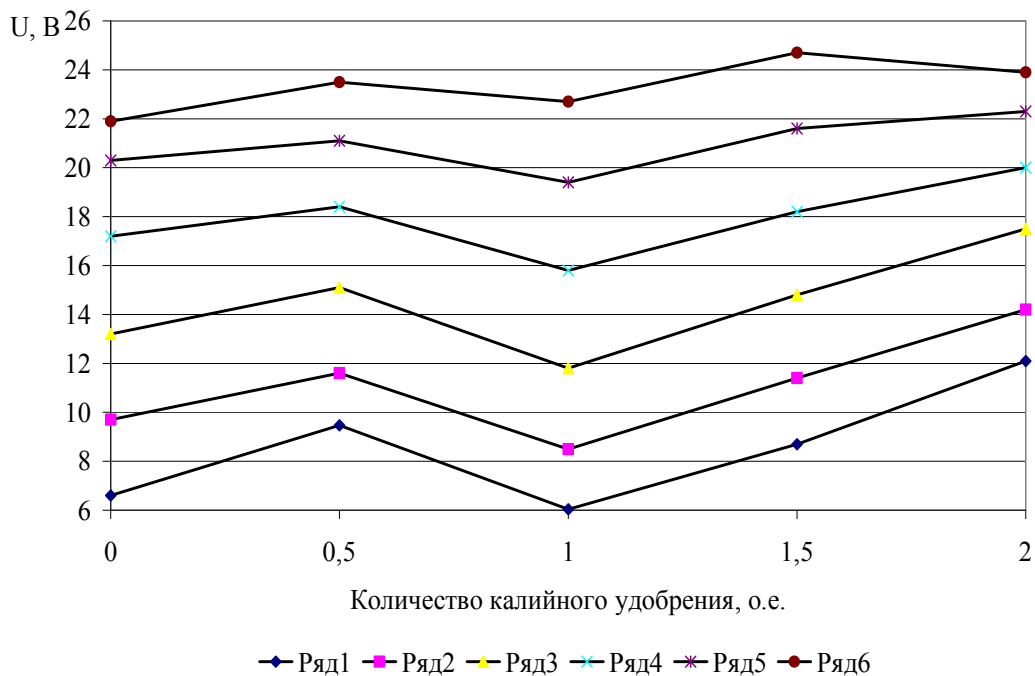


Рисунок 3 – Графические зависимости разности потенциалов для точек, расположенных в четвертом ряду образца

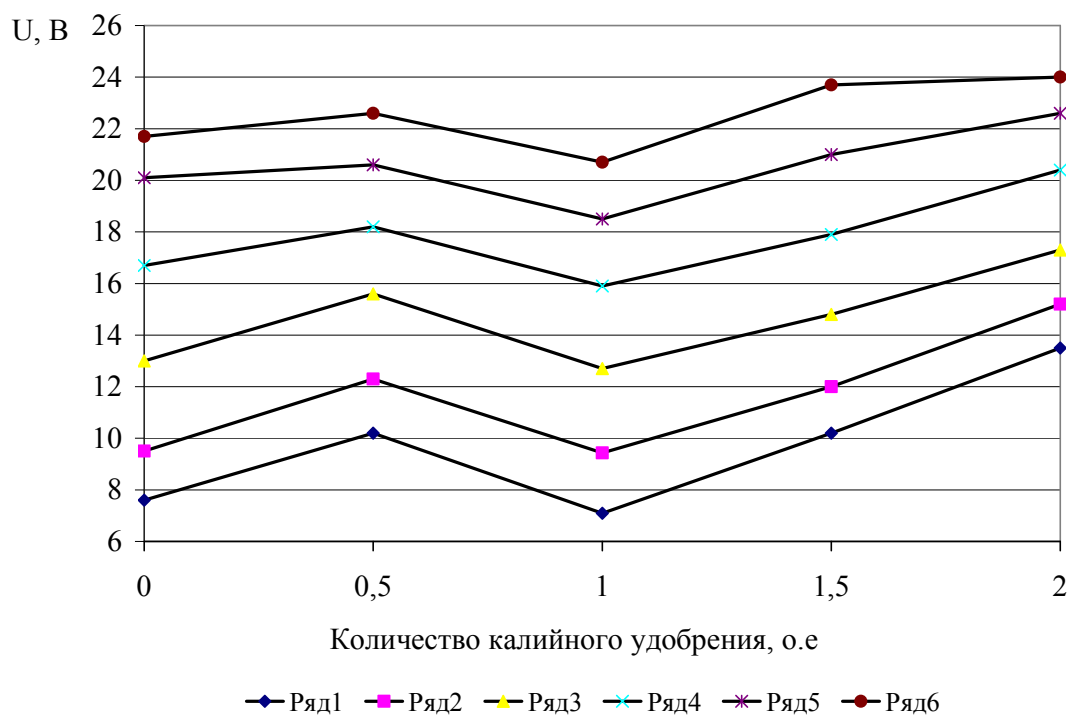


Рисунок 4 – Графические зависимости разности потенциалов для точек, расположенных в первом ряде образца

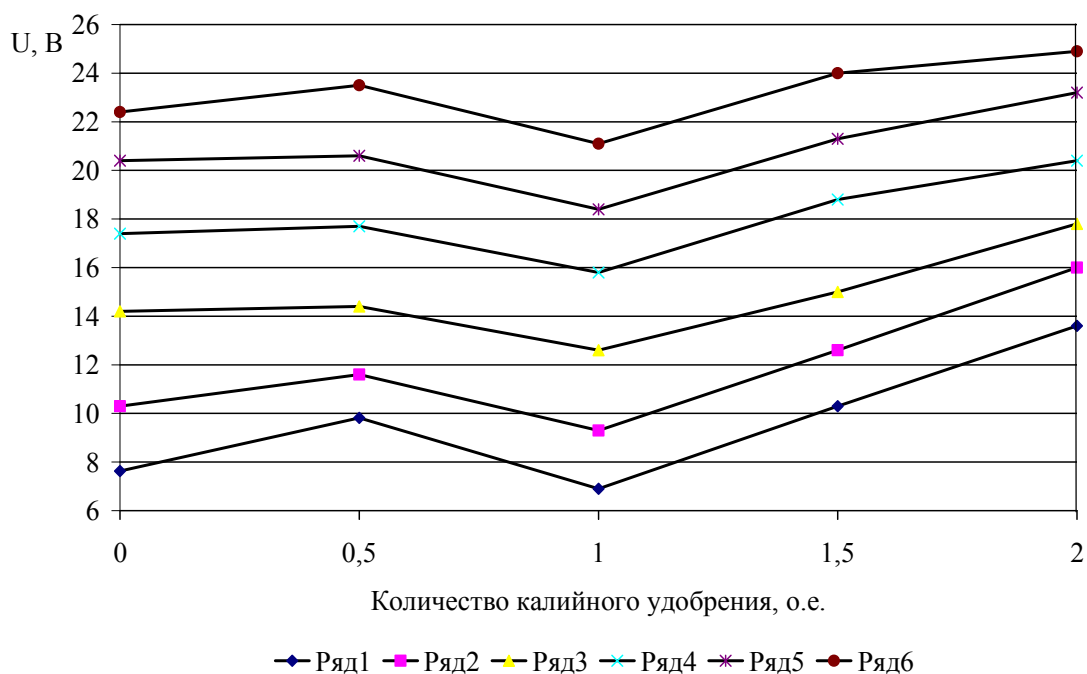


Рисунок 5 – Графические зависимости разности потенциалов для точек, расположенных во втором ряде образца

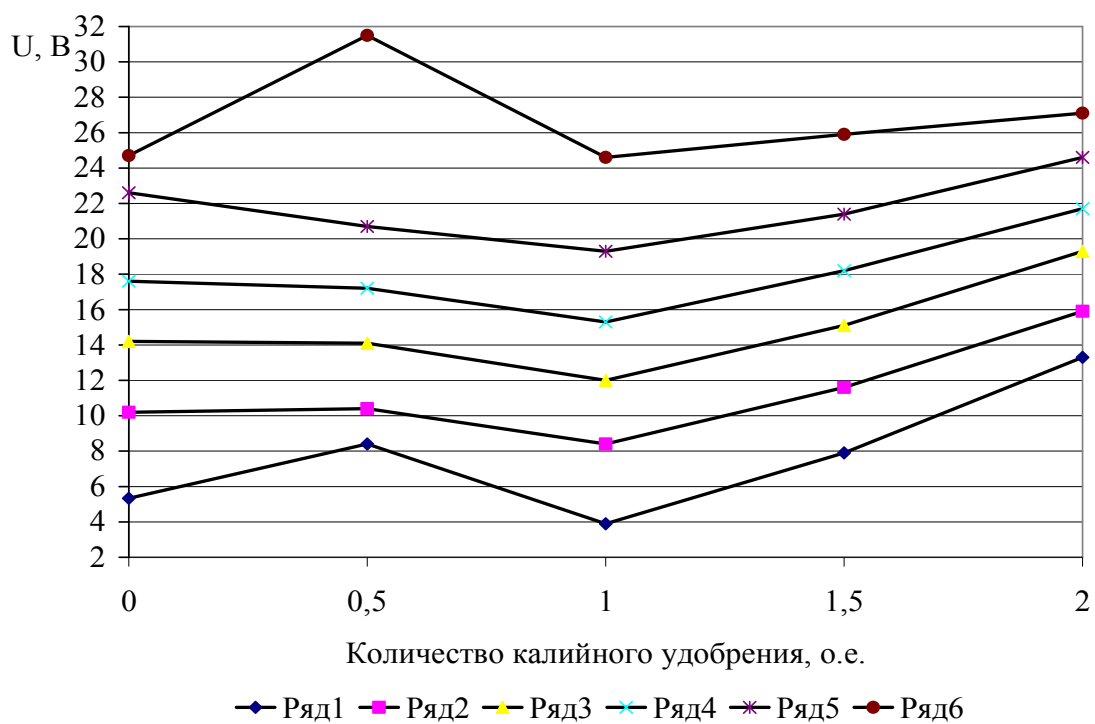


Рисунок 6 – Графические зависимости разности потенциалов для точек, расположенных в пятом ряде образца

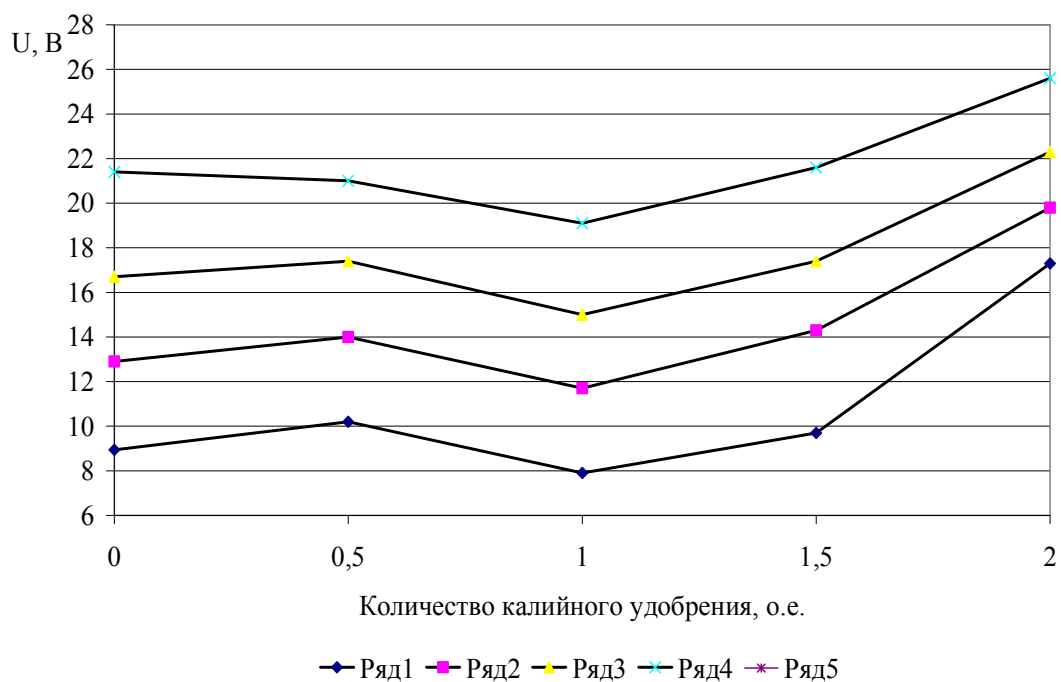


Рисунок 7 – Графические зависимости разности потенциалов для точек, расположенных в шестом ряде образца

Данный опыт был повторен при аналогичных условиях, т.е. при напряжении питания 30 В, четырех электродах, при том же расстоянии между электродами, при глубине их погружения в почву, при температуре. Однако образцы почвы были однородно измельченные на фракции размером 2...4 мм и каждый из образцов увлажнен количеством воды 0,5 л. Результаты экспериментов сведены в таблице 9...13.

Таблица 9 – Результаты измерений в емкости без внесения удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	8,69	11,8	14,1	17,3	29,9	
7,28	8,73	11,8	14,3	17,3	28,0	
8,35	10,2	13,0	15,6	18,6	20,5	
8,61	10,3	12,5	15,5	17,9	20,6	
7,52	9,56	12,4	15,3	18,0	21,0	
0	8,11	11,7	15,0	18,1	30,0	

Таблица 10 – Результаты измерений в емкости при внесении 50 % нормы удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	10,1	12,6	15,4	20,1	29,9	
6,23	9,9	12,4	15,0	18,3	20,2	
8,76	10,7	13,0	15,4	18,4	20,4	
9,16	11,0	13,5	15,7	18,5	20,3	
7,4	9,7	13,0	15,8	19,1	22,5	
0	10,3	12,7	16,3	19,4	29,1	

Таблица 11 – Результаты измерений в емкости при внесении 100 % нормы удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	10,3	14,7	17,6	22,8	29,5	
8,1	10,0	14,3	18,0	22,3	24,5	
8,9	10,8	14,3	17,2	20,4	22,5	
8,57	10,5	14,6	17,6	21,0	23,0	
7,85	10,4	14,2	17,9	21,8	23,3	
0	98,68	14,3	18,0	21,8	30,1	

Таблица 12 – Результаты измерений в емкости при внесении 150 % норме удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	11,0	13,2	16,2	18,1	31,0	
7,01	8,75	12,3	15,4	17,6	19,7	
7,52	9,69	12,0	14,5	17,2	19,0	
7,73	9,89	11,9	14,7	16,9	17,8	
2,27	8,8	10,9	13,1	15,5	22,9	
0	7,24	11,4	14,3	17,3	30,9	

Таблица 13 – Результаты измерений в емкости при внесении 200 % норме удобрений

Разность потенциалов между точками измерений, В: электрод «2» и контрольный электрод «4»	Ряд измерений					
	1	2	3	4	5	6
0	11,0	13,2	16,2	18,1	31,0	
7,01	8,75	12,3	15,4	17,6	19,7	
7,52	9,69	12,0	14,5	17,2	19,0	
7,73	9,89	11,9	14,7	16,9	17,8	
2,27	8,8	10,9	13,1	15,5	22,9	
0	7,24	11,4	14,3	17,3	30,9	

С учетом однотипности полученных экспериментальных данных, авторы не приводят зависимости в графическом варианте. Полученные данные указывают на корреляционные связи зависимости концентрации калийных удобрений от величины разности потенциалов в точках измерения.

Наиболее точный результат получен на основании обобщённой зависимости, полученной по средним приведенным значениями и имеет вид:

$$y = 0,278x^3 - 2,41x^2 + 5,22x + 13,63.$$

Проведены экспериментальные исследования и определены зависимости между концентрациями калийных удобрений и параметрами стационарного электрического поля и сделаны следующие выводы:

1. Хлористый калий является наиболее приемлемым удобрением для искусственного создания образцов с заданным содержанием калия.
2. Оптимальное напряжение между измерительными электродами – 20 В, при котором наиболее точно определяется содержание калия в почве.

3. Построенные графические зависимости показывают, что форма кривых носит практически однотипный характер при различных значениях напряжений.

4. Полученная зависимость, построенная по средним значениям, является наиболее достоверной.

#### **Библиографический список**

1. ДСТУ 4290:2004 Якість ґрунту. Методи визначання валового фосфору і валового калію в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – III, 10 с.

2. Канунникова, Н.А. Термодинамические потенциалы и показатели буферных свойств почв [Текст] /Н.А. Канунникова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 100 с.

3. Куценко, Ю. М. Аналіз існуючих методів визначення фосфору і калію у ґрунтах /Ю.М. Куценко, Д.В. Ільїн, Д.М. Коваль// Праці. ТДАТА. – Мелітополь, 2006. – Вип. 42. – С. 20-26.

4. Лапач, С.Н. Статистика в науке и бизнесе [Текст] / С.Н. Лапач, А.В. Чубенко, П.Н. Бабич. – К.: МОРИОН, 2002. – 640 с.

5. Русин, Г.Г. Физико-химические методы анализа в агрохимии [Текст] /Г.Г. Русин. – М.: Агропромиздат. 1990. – 303 с.: илл

6. Чмиленко, Ф.О. Аналітична хімія ґрунтів /Ф.О. Чмиленко, Н.М. Смітюк. – Донецк: ДНУ, 2005. – 156 с.

УДК 621.315.24:33:621.3.019.3

### **ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОДНОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**А.Ю. Медведько, к.т.н. ассистент**

*ФГБОУ ВПО Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия*

В ходе работы над диссертацией перед нами встала проблема подсчёта экономической эффективности разрабатываемой системы электроснабжения. Основными вопросами здесь являлась явная привязка экономической эффективности к конкретному хозяйству и отсутствие показателей надёжности, количественно характеризующих надёжность участка сети, реализованного по предлагаемой схеме.

К основным показателям надёжности относят поток отказов, среднее время восстановления, поток преднамеренных отключений, средняя продолжительность одного преднамеренного отключения, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы, вероятность вынужденного простоя. При этом первые четыре параметра являются базовыми и позволяют рассчитать остальные показатели.

Для определения параметра потока отказов для трёхпроводной линии 10 кВ воспользуемся статистической информацией, собранной нами за 2009 год:  $\omega = 9,24$ . Среднее время восстановления –  $T_{\text{ср}} = 3,7$  ч.