

УДК 681.396: 550.38

## Использование геоэлектрических методов в системах автоматизированного полива

Цаплев А.В., Кузичкин О.Р.

В статье рассматривается вопрос использования геоэлектрических методов для контроля влагонасыщенности почвы в автоматизированной системе полива. Изучены возможности и принципы применения геоэлектрического метода для локального контроля электропроводности почвы. Определена параметрическая зависимость локальной электропроводности от влагонасыщенности почвы. Выделены помехообразующие факторы, влияющие на значение электропроводности, и выявлено, что на результаты измерений наибольшее мешающее воздействие оказывают температурные вариации в среде. Предложена математическая модель, описывающая параметры почвенного слоя и его влагонасыщенность в виде геоэлектрических функциональных зависимостей. В статье разработан алгоритм коррекции временных рядов в автоматизированных системах управления поливом для устранения влияния температурных помех. Данный алгоритм может быть также использован в системах геоэкологического мониторинга почв, применяющих геоэлектрические методы геодинамического контроля.

*Ключевые слова:* автоматизированные системы управления, геоэлектрический контроль, влагонасыщенность, электропроводность, температурная помеха.

## Application of geo-electric methods in automated irrigation systems

Tsaplev A.V., Kuzichkin O.R.

The paper deals with the issue of using geo-electric methods for monitoring soil water saturation in an automated irrigation system. The ways and guidelines for applying geo-electric methods in local monitoring of soil electrical conductivity are studied. Parametric dependence of local conductivity on soil moisture is proved. Troublesome factors affecting electrical conductivity value are identified. Measurement results appear to be mostly affected by temperature variations in the environment. A mathematical model for describing soil layer parameters and its water saturation as geo-electric functional dependencies is given. In the paper, the correction algorithm of time sequence for automated irrigation monitoring systems to eliminate temperature influence is developed. The algorithm can also be used in geo-environmental soil monitoring systems, based on geo-electrical methods of geodynamic monitoring.

*Keywords:* automated monitoring systems, geo-electric control, water saturation, electrical conductivity, temperature influence.

### Введение

Орошение является важнейшим мелиоративным приемом стабилизации сельскохозяйственного производства в любые по естественной влагообеспеченности годы. Однако часто при использовании существующих неконтролируемых систем орошения возникают такие неблагоприятные явления, как подъем уровня грунтовых вод, засоление и другие, снижающие плодородие почв. Причинами таких явлений являются не только потери из оросительной сети, отсутствие дренажных систем, но и

инфильтрационные потери поливной воды на орошаемых полях, которые отдельно не определяются и, как правило, включаются в суммарное водопотребление, что приводит к завышению оросительных норм. Поэтому в настоящее время существует важная задача разработки автоматизированных систем полива, позволяющих обеспечивать контролируемый ресурсосберегающий режим орошения, а также получать текущие параметры о влагонасыщенности почв и определять оптимальный ресурсосберегающий режим орошения.

На основании исследований [1,2] установлена зависимость влияния электропроводности почвы от ее влажности, следовательно, контроль электропроводности почв позволяет косвенно судить о ее текущей влагонасыщенности. Одним из перспективных методов контроля электропроводности почвенного покрова является геоэлектрический метод. Применение геоэлектрических методов позволяет измерять комплексное сопротивление, отражающее электропроводность почвы и соответственно ее влагонасыщенность, что позволяет оперативно управлять режимом орошения в автоматизированных системах полива.

Целью работы является рассмотреть возможность использования геоэлектрических методов для оценки влагонасыщенности почвы с целью управления автоматизированным поливом.

#### Геоэлектрический метод контроля

Геоэлектрический метод контроля проводимости почв заключается в пропускании электрического тока через контролируемый участок почвы (рисунок 1).

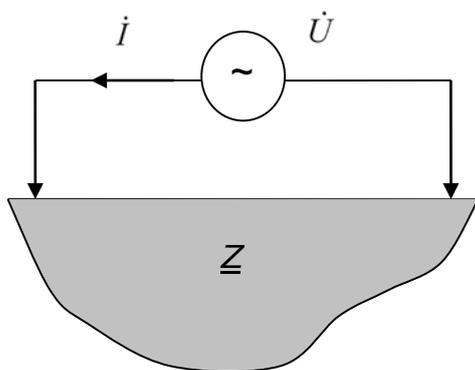


Рис. 1. Схема геоэлектрических измерений.

По результатам измерения, учитывая приложенное переменное напряжение и ток, получаем локальное комплексное сопротивление контролируемого участка почвенных слоев. Комплексное сопротивление характеризуется некоторым средним значением удельного сопротивления распределенного между двумя

полюсами подключения источника тока с учетом глубины проникновения тока. Электропроводность почвы определяется наличием влаги и количеством растворимых веществ, а также температурой среды. [2].

В таблице 1 показана зависимость удельного сопротивления от влажности для тонкодисперсионной почвы.

Таблица 1. Зависимость удельного сопротивления от влажности почвы.

Влажность, %	2,5	5	7,5	10	15	20	25	30
$\rho$ , Ом*м	2500	1650	1000	530	190	120	85	64

#### Комплексное сопротивление как информативный параметр

Таким образом, для определения параметров контроля влагонасыщенности почвы представляем комплексное сопротивление  $\underline{Z}$  участка в виде интегрального параметра:

$$\underline{Z} = \{ \rho_i(W, M, T), \omega; i = 1..N \}$$

где  $\rho_i$  – удельное электрическое сопротивление  $i$ - слоя почвы,  $W$  – влагонасыщенность грунта,  $M$  – минерализация почвы,  $T$  – температура,  $\omega$  – частота сигнала.

Исходя из данной параметрической модели, для оценки влажности почвы предлагается сделать следующее:

1) Определить степень минерализации исследуемого участка, построить корреляционные зависимости изменения удельного сопротивления почвы от концентрации растворимых веществ в почве. Построенные зависимости позволят для грунтов различного типа определить некоторые оптимальные значения влажности и содержания растворимых веществ, при которых  $\rho$  достигает минимума и максимума.

2) Определить температуру почвы  $T$ , однако данная величина изменяется по глубине плодородного слоя. Это связано с тем, что температура почвы  $T$  зависит, как правило, от температуры воздуха, действующего на грунт, и

времени его удержания на поверхности. Температура окружающего воздуха является климатическим фактором и определяет интенсивность температурных помех и уровень их влияния. Отсюда следует, что наибольшее влияние на результаты измерений будут оказывать температурные помехи.

Для устранения влияния температурных помех на результаты геоэлектрических измерений требуется применять специализированные алгоритмы [3,4,5,6].

3) Разработать математическую модель, которая позволит описать геологические особенности исследуемого участка. Как правило, строение земной поверхности представляют в виде многослойной структуры, каждый слой отличается своими электрическими параметрами, такими как удельное электрическое сопротивление  $\rho_i$  и диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_i$  [2]. Данный подход позволяет выделить и описать плодородный слой, водоносный слой, зону аэрации и т.д. Модель каждого слоя представляется в виде диэлектрика с потерями, многослойная структура представляется в виде соединения нескольких параллельно соединенных сопротивлений и конденсаторов (рисунок 2).

Данная модель учитывает геологические, геометрические, электрические параметры слоистой структуры земной поверхности. Согласно разработанной математической модели выбираются частоты источника  $\omega_n$ . Использование нескольких частот источника позволяет послойно контролировать на разных глубинах электрические характеристики почвы.

#### Алгоритм температурной коррекции

Для проведения температурной коррекции полученных результатов предлагается использовать принцип регрессионной обработки временных рядов [5,6]. Данный метод основан на регистрации температуры в почве и на использовании базовой геоэлектрической модели, учитывающей влияния температуры.

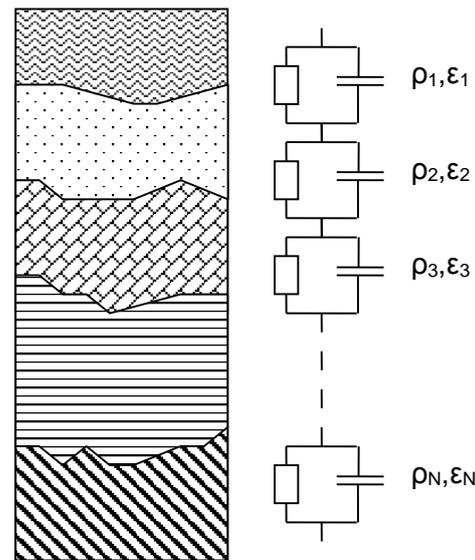


Рис. 2. Геоэлектрическая модель замещения геологического строения грунта.

Алгоритм обработки следующий, общее время регистрации комплексного сопротивления почвы разбивается условно на  $N$  интервалов (т.е комплексное сопротивление стационарно и равно  $\Delta Z_i(\omega)$ ). В результате имеем линейное регрессионное соотношение, объединяющее интервалы времени и позволяющее выделить трендовое значение сопротивления, которое имеет следующий вид:

$$Z(\omega, T) = Z(\omega, T_0) + \alpha_T T + \Delta Z_i(\omega),$$

где  $i$  – интервал измерений,  $\alpha_T$  – температурный коэффициент.

Для каждого интервала времени электрические параметры почвы полностью определяются вариациями комплексного сопротивления:

$$\Delta_i = Z(\omega, T_0) + \Delta Z_i(\omega)$$

Регрессионное соотношение формируется исходя из целевой функции:

$$\Psi(\omega, T) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Z_{ij}(\omega, T) - \alpha_T T_{ij} - \Delta_i)^2,$$

где  $N$  – количество интервалов контроля;  $M$  – количество точек измерений в интервале контроля.

Минимизация этого соотношения приводит к системе из  $N+1$  уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M T_{ij}^2 + \sum_{i=1}^N \Delta_i \sum_{j=1}^M T_{ij} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Z_{ij} T_{ij} \\ \alpha_T \sum_{j=1}^M T_{ij} + \Delta_i M = \sum_{j=1}^M Z_{ij}, \quad (i = 1, \dots, N) \end{array} \right.$$

В соответствии с этим определяется изменение комплексного сопротивления с учетом температурной коррекции:

$$\Delta_i = \bar{Z}_M - \bar{T}_M \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Z_{ij} (T_{ij} - \bar{T}_M)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M T_{ij} (T_{ij} - \bar{T}_M)},$$

$$\bar{Z}_M = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Z_{ij}, \quad \bar{T}_M = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M T_{ij}.$$

### Заключение

Таким образом, применение геоэлектрических методов позволяет осуществлять эффективный контроль влагонасыщенности почвы. Информативным параметром, как и в кондукметрических методах, является комплексное сопротивление грунта. Однако геоэлектрический метод имеет ряд существенных преимуществ, и в первую очередь это возможность послойного контроля электропроводности и, следовательно, влагонасыщенности почвы. При этом достаточно эффективно может быть решена проблема температурной помехи, за счет использования предложенного алгоритма температурной коррекции. Соответственно, полученные более точные данные по глубинной влагонасыщенности почвенных слоев позволяют делать вывод о необходимости полива, а также выбирать оптимальный режим орошения.

### Литература

1. Пархоменко Э.И., Бондаренко А.Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температуре. – М., 1979. – 272 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1986. – 316 с.
3. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Применение регрессионной обработки для компенсации темпера-

турных помех в системах геоэлектрического контроля // Радиопромышленность. 2012. № 2. – С. 147-153.

4. Цаплев А.В. Применение температурной коррекции в системах геоэлектрического контроля геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных [Электронный ресурс]: Электронный научный журнал /под ред. С.С. Садыхова, Д.Е. Андрианова; Вып. 2(20) – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012. – С. 99-103.

5. Tsaplev, A.V. Application of compensation of temperature interferences at geoelectric sounding of the karst // CriMiCo 2012 - 2012 22nd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings. 2012. – P. 1075-1076.

6. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Алгоритм параметрической температурной коррекции результатов геоэлектрического зондирования // Вопросы радиоэлектроники, сер. ОТ, 2010, Вып.1. – С.128-133.

### References

1. Parhomenko E.I., Bondarenko A.T. ushilina Y.N. Jelektroprovodnost' gornyh porod pri vysokih davlenijah i temperature [The electrical conductivity of rocks at high pressures and temperatures] – Moscow, 1979. – 272 p.
2. Zhdanov M.S. Jelektorazvedka: Uchebnik dlja vuzov [Electromagnetics: Textbook for Universities]. – Moscow: Nedra, 1986. – 316 p.
3. Kuzichkin O.R., Tsaplev A.V. Primenenie regressionnoj obrabotki dlja kompensacii temperaturnyh pomeh v sistemah geoelektricheskogo kontrolja [Application of regression processing to compensate for temperature interference in the control of the geoelectric] // Radiopromyshlennost [Radio industry], 2012, № 2. – P. 147-153.
4. Tsaplev A.V. Primenenie temperaturnoj korrekcii v sistemah geoelektricheskogo kontrolja geodinamicheskikh ob#ektov [The use of temperature correction in systems geoelectric monitoring of geodynamic objects] // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh [Algorithms, methods and systems of data processing], 2012, Vol. 2(20). – P. 99-103.
5. Tsaplev, A.V. Application of compensation of temperature interferences at geoelectric sounding of the karst // CriMiCo 2012 - 2012 22nd International

Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings, 2012. – P. 1075-1076.

6. *Kuzichkin O.R., Tsaplev A.V.* Algoritm parametricheskoj temperaturnoj korrekcii rezul'tatov geo-

jelektricheskogo zondirovaniya [Parametric temperature correction algorithm results geoelectric sounding] // *Voprosy radioelektroniki, ser. OT* [Radioelectronics questions, OT series], 2010, Vol.1. – P.128-133.

**Статья поступила в редакцию 3 сентября 2014 г.**

---

*Цаплев Алексей Вячеславович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: arhiav@yandex.ru

*Кузичкин Олег Рудольфович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: electron@mivlgu.ru

---

*Tsaplev Aleksey Vyacheslavovich* – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: arhiav@yandex.ru

*Kuzichkin Oleg Rudolfovich* – Prefessor, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: electron@mivlgu.ru