

## РАЗДЕЛ IV. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

управление измерениями, оценивая уровень помех и приостанавливая СТМ-измерения на периоды времени с повышенным виброакустическим фоном.

### Выводы

Предложенный интеллектуальный сканирующий туннельный микроскоп обеспечивает расширение функциональных возможностей за счет автоматического обнаружения (путем выделения структурных элементов нанообъектов на основе сегментации по кривизне СТМ-профилограмм) и распознавания СТМ-изображений нанообъектов с повышенной надежностью, обеспечиваемой использованием двух методов распознавания (аппарата нейронных сетей и нечеткой логики), а также посредством уменьшения шумов на СТМ-изображениях и приостановки измерений на периоды времени с повышенным виброакустическим фоном (путем введения системы активной виброзащиты).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гафаров М.Р. Контроль дисперсности наночастиц в СТМ-измерениях выделением структурных элементов их изображений [Текст] / М.Р. Гафаров, Е.Ю. Шелковников, П.В. Гуляев, А.В. Тюриков, С.Р. Кизнерцев // Ползуновский вестник. – 2011. – №3. – С. 118-124.
2. Шелковников Ю.К. Построение изображений поверхности при многокадровом режиме сканирующего туннельного микроскопа [Текст] / Ю.К. Шелковников, М.Р. Гафаров, П.В. Гуляев,

А.В. Тюриков, С.Р. Кизнерцев // Химическая физика и мезоскопия. – 2008. – Т. 10. – №4. – С.514-520.

3. Липанов А.М. Применение генетического алгоритма для обучения нейронной сети в задаче идентификации СТМ - изображений [Текст] / А.М. Липанов, А.В. Тюриков, А.С. Суворов, Е.Ю. Шелковников, П.В. Гуляев // Ползуновский вестник. – 2010. – №2. – С.217-221.
4. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение [Текст] / В.А. Головкин. – М.: ИПР-ЖР, 2001. – с. 28-57.
5. Шелковников Ю.К. Методика автоматизированного построения функций принадлежности для оперативного распознавания СТМ-профилограмм [Текст] / Ю.К. Шелковников, А.В. Тюриков, М.В. Тарасов, П.В. Гуляев // Ползуновский вестник. – 2010. – №2. – С.84-88.
6. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / В.В.Круглов, М.И. Длин, Р.Ю. Голубов. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. – 224 с.
7. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети [Текст] / Т.Л. Саати. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
8. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

*Д.т.н., зав. лаб. Шелковников Е.Ю., к.ф.-м.н., с.н.с. Тюриков А.В., к.т.н., с.н.с. Гуляев П.В., к.т.н., с.н.с. Кизнерцев С.Р., студент Липанов С.И. – (3412) 21-89-55, iit@udman.ru - Институт прикладной механики УрО РАН.*

УДК 620.171.33

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРЕГУЛЯРНОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО РЕЗОНАТОРА

Т.Д.Кочеткова, В.И. Суслиев, В.А. Журавлёв, Е.Ю. Корovin, Т.П.Соловьева

Представлены результаты измерения влажности почв мобильным прибором «Аквасенсор», построенном на основе нерегулярного микрополоскового резонатора. Приведены результаты измерений для нескольких видов почв Томской области. Прибор четко определяет переход воды в почве из связанного состояния в рыхлосвязанное и свободное. Отмечена зависимость показаний прибора от состава почвы.

**Ключевые слова:** влажность почв, связанная вода, нерегулярный микрополосковый резонатор, экспресс-метод.

### Введение

Изучение влажности почв дает практически важную информацию для эффективного использования сельскохозяйственных угодий, проведения мелиоративных мероприятий; для выбора расположения радиорелейных станций. Традиционные почвенно - агрофизические методы отбора проб в длинномерных почвенных траншеях, а затем определе-

ния влажности сухо-весовым способом в лабораторных условиях, требуют значительных временных затрат и не позволяют получить результаты в режиме реального времени. Эту проблему можно решить применением радиоволновых методов.

Определение влажности в многофазных дисперсных средах, к которым относятся почвы, основывается на поглощении и рассе-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРЕГУЛЯРНОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО РЕЗОНАТОРА

янии электромагнитной энергии частицами каждой фазы: почвенной влаги в различных состояниях, воздуха и сухого скелета [1]. Фактически измеряются параметры прошедшего или отраженного излучения, в общем случае: амплитуда, фаза и угол поворота плоскости поляризации электромагнитной волны.

Цель настоящей работы заключается в исследовании возможности применения мобильного прибора «Аквасенсор» для измерения влажности почв. Для этого были исследованы образцы ряда почв Томской области. Данный прибор разработан в Центре радиоизмерений Национального исследовательского Томского государственного университета и производится на одноименном предприятии при ТГУ ООО «Аквасенсор» для контроля качества воды тепловых электростанций и природных водоисточников [2].

Основным элементом является нерегулярный микрополосковый резонатор (НМПР) [3], который обладает всеми достоинствами резонаторных сверхвысокочастотных устройств: высокой чувствительностью, малой инерционностью; удобной формой представления сигнала. Мобильный прибор имеет малый вес (1,5 кг) и небольшие габариты (40×20×7 см<sup>3</sup>), экономичен, что является необходимым свойством мобильной аппаратуры, позволяющей проводить исследования и в лабораторных, и в полевых условиях.

Объектом исследования являются почвы Томской области.

На данном этапе исследовались следующие почвогрунты:

- суглинистая почва, п. Киреевск;
- суглинистая почва, п. Богашево;
- супесчаная почва, п. Половинка;
- песок, оз. Яровое;
- песок, р. Обь;
- песчаная почва, п. Моряковка.

Исследовалась зависимость частоты генерации и выходного напряжения прибора от влажности и гранулометрического состава почвы.

### Экспериментальная установка

Прибор представляет собой автодин, в частотоподающую цепь которого включён нерегулярный микрополосковый резонатор. Конструкция прибора приведена на рисунке 1.

При помещении датчика в исследуемую среду в резонаторе происходит потеря электромагнитной энергии вследствие переполаризации либо за счёт сквозной проводимости. При этом амплитуда выходного сигнала автодина уменьшается. Изменение выходного напряжения отслеживается по показаниям

вольтметра. Антенна для этого сигнала размещена вблизи внутреннего конца центрального проводника резонатора и неподвижно закреплена в толще наполнителя датчика. СВЧ сигнал от антенны детектируется и поступает на вольтметр.

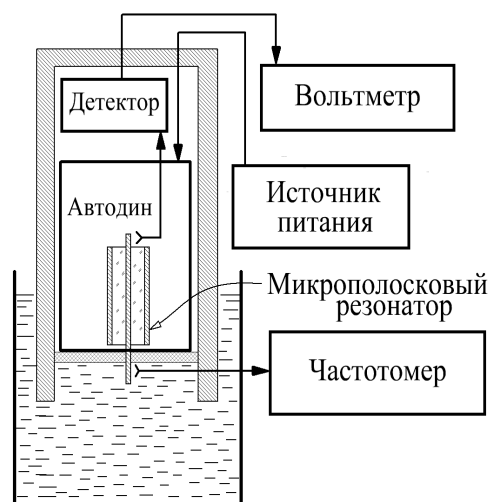


Рисунок 1 – Блок-схема прибора для измерения влажности жидких и дисперсных сред

При помещении датчика в почву с различной влажностью происходит изменение частоты генерации из-за изменения электрической длины микрополоскового резонатора. В области центрального проводника в наружной части датчика размещена еще одна антенна в виде отрезка медной проволоки. Антенна соединена коаксиальным кабелем с частотомером.

### Методика эксперимента

Перед каждым измерением датчик прибора промывается этиловым спиртом и осушается сжатым воздухом. Сначала проводится запись показаний вольтметра и частотомера на воздухе, затем датчик вертикально погружается в образец исследуемой среды и плотно прижимается к поверхности образца так, чтобы в рабочей зоне датчика грунт был плотным, без воздушных пустот. Записываются показания приборов, когда датчик контактирует с образцом. Затем датчик извлекается из среды, промывается водой, осушается спиртом и воздухом.

Измеряемой величиной является разность показаний прибора с датчиком на воздухе и в исследуемой среде.

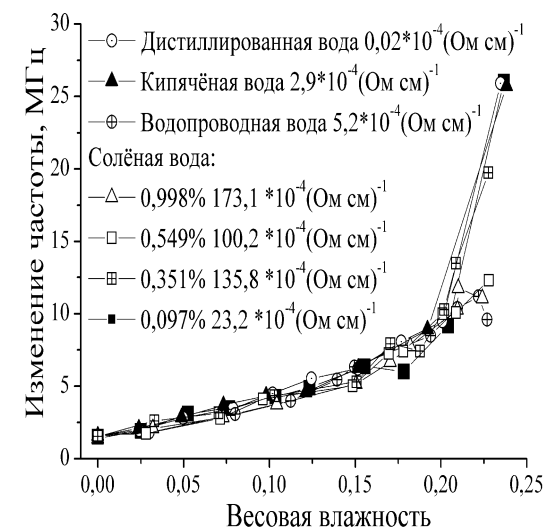
Методика приготовления образцов была описана в [4].

### Тестовые измерения

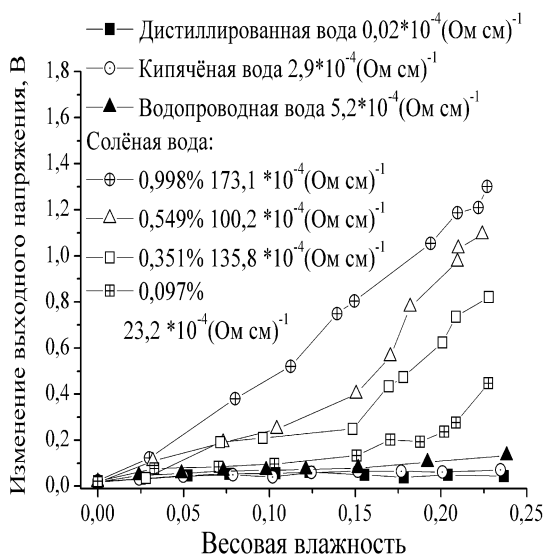
Чтобы оценить влияние засоленности или загрязнения почвы на измерение её

## РАЗДЕЛ IV. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

влажности, были проведены измерения для кварцевого песка, увлажнённого водой с различной солёностью, а значит и проводимостью. Использовались водные растворы NaCl различной концентрации. Определялась проводимость столба жидкости определённой высоты (50 см) с помощью измерителя сопротивлений E7-8. Влажность песка находилась в весовых долях как отношение разности массы влажного и сухого песка к массе сухого песка. Результаты измерений представлены на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Зависимость изменения частоты генерации (а) и отклика (б) для песка, увлажнённого водой с различной солёностью и удельной проводимостью

Важной особенностью полученных зависимостей является то, что частота генерации слабо зависит от различий в проводимости увлажняющей воды. Изменение выходного напряжения, напротив, очень чувствительно к этому параметру. Это означает, что для определения влажности почвы следует использовать изменение частоты генерации. Тогда гранулометрический состав почвы и особенности ее химического состава будут значительно слабее влиять на точность измерения влажности.

Из графиков видно, что солёность увлажняющего раствора вносит хорошо определяемые различия в зависимость выходного напряжения от влажности. С повышением солёности отклик системы увеличивается. Это объясняется увеличением потерь в среде с повышенной проводимостью.

### Исследование прибора на почвенных образцах

Были измерены изменения частоты генерации и выходного напряжения для почв с различным гранулометрическим составом. Количество солей в почвах характеризовалось удельной проводимостью почвенной вытяжки. Вытяжка приготавливалась по методике, принятой в почвоведении, а именно: 1 часть почвы по весу и 5 частей дистиллированной воды смешивались, раствор отстаивался и был отфильтрован. Затем измерялась проводимость раствора. Результаты измерений приведены на рисунке 3.

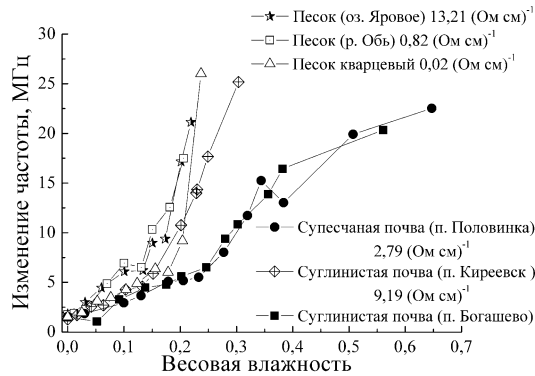
Из графика 3б видно, что природные пески, взятые из разных регионов (р. Обь и оз. Яровое, Алтайский край) резко отличаются по значению проводимости почвенной вытяжки. Действительно, солёность почв в этих регионах различна. Зависимость изменения частоты генерации от влажности для этих песков (рис. 3а) оказалась почти одинаковой, как и в предыдущих тестовых измерениях. Для сравнения на графике приведены данные для кварцевого песка, которые имеют тот же характер.

Зависимость изменения частоты генерации от влажности для почв других видов – суглинистой и песчаной – оказалась отличной от зависимости для песков. Такое расхождение может быть объяснено влиянием на влажностные зависимости других параметров почв, например, содержания гумуса, гранулометрического состава и др.

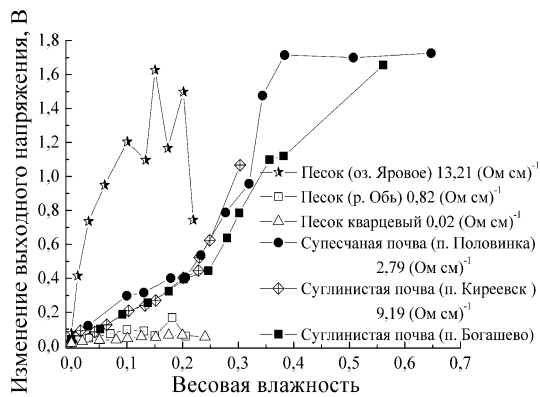
На графике 3б также видны различия в поведении кривых в зависимости от гранулометрического состава почвы. Здесь пески значительно отличаются друг от друга со-

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРЕГУЛЯРНОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО РЕЗОНАТОРА

гласно разнице по проводимости почвенной вытяжки более чем в 10 раз. Зависимости для всех почвенных образцов имеют практически одинаковый характер.



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимость изменения частоты генерации (а) и отклика (б) для почв разных видов и с различной солёностью

### Сравнение биологических и электрофизических характеристик почв

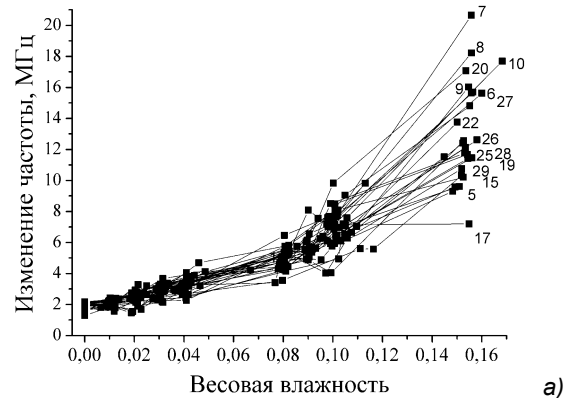
Для выяснения, какие именно характеристики почв имеют наибольшее и решающее влияние на ход влажностных зависимостей показаний прибора, был взят материал, предоставленный кафедрой почвоведения Биологического института ТГУ. Это образцы почв из разреза на коренной левобережной террасе р. Томи, 2,5 км выше по течению от с. Нагорный Иштан, Томская область, Томский район, Моряковское сельское поселение. Почва классифицируется как подзолистая иллювиально-железистая глубокоподзолённая супесчаная.

Было исследовано 28 образцов, взятых из разных горизонтов. Глубина обора проб - от 6 см до 210 см. Образцы отличаются по содержанию гумуса (1,56 ± 0,04%), физиче-

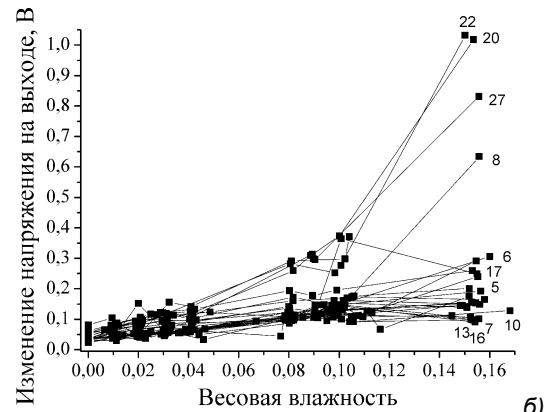
ской глины (14,7 ± 2,61%), подвижного фосфора (68,5 ± 10,0 мг/100г) и гигроскопической влажности (1,45 ± 0,10%), гидролитической кислотности (3,85 ± 0,87 мг-экв/100г), рН<sub>КС</sub>-фактору (5,63 ± 3,18).

Каждый образец рассматривался в 9 точках по влажности от 0,01 до 0,15 весовых долей.

Результаты измерений представлены на рисунке 4. Числа на графике обозначают номер образца, соответствующий глубине залегания.



а)



б)

Рисунок 4 – Влажностная зависимость относительного изменения частоты генерации (а) и выходного напряжения (б) для подзолистой псевдофибровой глубокоподзолённой супесчаной (Разрез 4-09) почвы

Из рисунка 4 видно, что влажностные зависимости показаний прибора имеют разброс. Наименьшие отклонения выходного напряжения получились у образцов с большим содержанием физической глины и гумуса, а наибольшие – при повышенной гидролитической кислотности почв. Это даёт возможность оценить проводящие свойства среды. Изменения частоты имеют довольно беспорядочный характер. Учитывая данные тестовых измерений, частота генерации не должна зависеть от проводящих примесей или солёности, а скорее от величины частиц

## РАЗДЕЛ IV. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

твёрдой фазы и, как следствие, от их способности связывать воду. Возможно, при приближении к порогу протекания возрастает погрешность измерения, обусловленная неустойчивостью системы при переходе воды из связанного состояния в рыхлосвязанное.

### Выводы

- Проведённые исследования показывают:
1. Датчик на основе микрополоскового резонатора применим для измерения влажности почвы. Мобильность прибора позволяет использовать его в полевых условиях для оперативной оценки характеристик почв, например, на учебной практике студентов-геологов и почвоведов.
  2. Измерение изменения частоты автодина позволяет устранить неоднозначность в определении влажности почвы, возникающую при использовании измерения только амплитуды сигнала, когда значения напряжения зависят от содержания и влаги и проводящих примесей в почве.
  3. На качественном уровне наблюдается слабая зависимость между измеряемыми величинами и характеристики почвы, такими как: гранулометрический состав, содержание гумуса, химический состав, гидролитическая кислотность,  $pH_{КС}$ .  
Для выявления чёткой взаимосвязи между показаниями прибора и характеристиками почв требуется проведение многофакторного корреляционного анализа.

УДК 620.179.14

## ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ТРУБ

А.Е. Гольдштейн, В.Ф. Булгаков, Е.В. Якимов, Е.И. Уразбеков

Рассматривается техническая реализация метода вихретокового контроля внутреннего диаметра труб из ферромагнитной и аустенитной сталей. Описаны используемая конструкция вихретокового преобразователя, алгоритм преобразования его сигналов, структурная схема системы контроля, методика ее калибровки.

**Ключевые слова:** вихретоковый преобразователь, математическая модель, амплитудно-фазовое преобразование, система вихретокового контроля.

### Введение

В ряде практических случаев возникает задача контроля внутреннего диаметра труб. В процессе эксплуатации труб такая задача может быть связана с необходимостью контроля возможного изменения внутреннего диаметра в результате пластической деформации, вызванной механическими воздействиями на наружную или внутреннюю поверхность (сопряженными часто с одновре-

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микроволновая термовлагодетрия. [Текст] / П.А. Федюнин, Д.А. Дмитриев, А.А. Воробьев, В.Н. Чернышов. – М.: Изд-во Машиностроение-1, 2004. – С. 6 – 8.
2. Суслев В.И. Контроль истощения ионообменных фильтров тепловых электростанций микроволновыми датчиками. [Текст] / В.И. Суслев, В.А. Журавлёв, Е.Ю. Коровин / Ползуновский вестник, 2011.– № 3/1.– С. 109–111.
3. А.с. 1720032 СССР, G 01 R 27/26. Ячейка для измерения диэлектрической постоянной жидкости. [Текст] / Б.А. Беляев, В.А. Журавлев, В.В. Тюрнев, В.И. Кириченко, В.И. Суслев (СССР). – № 4746169/09: заявл. 30.10.1989; опубл. 15.03.1992, Бюл. № 10. – 3 с.
4. Кочеткова Т.Д. Мобильный прибор на основе нерегулярного микрополоскового резонатора для измерения влажности почв. [Текст] / Т.Д. Кочеткова, В.И. Суслев, Е.Ю. Коровин, В.А. Журавлёв // Доклады ТУСУРа. – 2011.– № 2 (24), часть 1. – С. 249-252

*Доцент Т.Д. Кочеткова – [tdk\\_tomsk@mail2000.ru](mailto:tdk_tomsk@mail2000.ru); доцент В.И. Суслев – [susi@mail.tsu.ru](mailto:susi@mail.tsu.ru); к. ф.-м. н., доцент В.А. Журавлёв – [ptica@mail.tsu.ru](mailto:ptica@mail.tsu.ru); к. ф.-м. н., ст. преподаватель Е.Ю. Коровин – [korovin\\_ey@mail.tsu.ru](mailto:korovin_ey@mail.tsu.ru) – кафедра радиоэлектроники Томского государственного университета (ТГУ), (382-2)41-39-73; зам. директора по учебной работе, к. биол. н., доцент Т.П. Соловьёва – [decap@bio.tsu.ru](mailto:decap@bio.tsu.ru), – Биологический институт ТГУ (382-2)52-98-53, 634050 г. Томск, пр. Ленина, 36.*

менными термическими воздействиями) либо значительными коррозионными повреждениями внутренней поверхности. В случае если труба изготовлена из электропроводящего материала, может быть обеспечен доступ внутрь трубы, длина трубы не превышает нескольких десятков метров, с успехом может быть применен вихретоковый метод контроля. Конкурентными преимуществами вихретокового метода по сравнению с альтерна-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012