

УДК 630.52:587/588

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.28

## ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЛЕСНОГО ФОНДА ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ РАДИОЧАСТОТНОМ МОНИТОРИНГЕ

С. П. Санников, В. В. Побединский, И. В. Бородулин, А. А. Побединский

Уральский государственный лесотехнический университет,  
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
E-mail: ssp-54@mail.ru; pobed@e1.ru

*Рассмотрена проблема радиочастотного мониторинга лесного фонда с помощью сети RFID-устройств. Для оценки одного из важнейших параметров — комплексной диэлектрической проницаемости лесной среды, получена функциональная зависимость от климатических параметров температуры и влажности воздуха на основе нечёткого вывода. С этой целью выполнены процедуры содержательной постановки задачи нечёткого моделирования, приведение к нечёткости, разработки базы правил нечёткой продукции. Синтез нечёткой модели результирующей зависимости выполнен средствами Fuzzy Logic Toolbox приложения MatLab.*

**Ключевые слова:** радиочастотный мониторинг лесного фонда; комплексная диэлектрическая проницаемость участка леса; климатические параметры; нечёткое моделирование; нечёткий вывод.

**Введение.** Сохранение лесов в настоящее время превращается в глобальную проблему, что требует совершенствования систем лесоуправления и лесопользования с учётом новых социально-экономических условий и увеличения рисков природных и техногенных катастроф. В этой связи «Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года» [Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1724-р от 26 сентября 2013 г.] предусматривают создание новых дистанционных систем наземного, авиационного и космического мониторинга пожарной опасности, защиты от незаконных рубок и использование инновационных информационных технологий.

Принципиально новая система непрерывного радиочастотного мониторинга лесного фонда, созданная на кафедре ав-

томатизации производственных процессов УГЛТУ [Пат. 2492891 Российская Федерация, МПК В27L 1/00 (2006/01)]. Система обнаружения лесного пожара / В.Г. Лисенко, С.П. Санников; заявл. 09.04.13, опубл. 20.09.13, Бюл. № 26.], использует в качестве одного из входных параметров значение комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_k$  участка леса между датчиками [1–8]. Этот параметр в процессе работы будет зависеть от климатических факторов, в первую очередь от влажности и температуры воздуха. Чтобы установить функциональную связь на основе статистических методов, необходим большой объём соответствующих данных, получить которые будет сложно. Поскольку в предварительных исследованиях часть данных была получена [9–12], то для вывода указанной функции в этом случае возможно применение нечёткого моделирования.

© Санников С. П., Побединский В. В., Бородулин И. В., Побединский А. А., 2017.

**Для цитирования:** Санников С. П., Побединский В. В., Бородулин И. В., Побединский А. А. Зависимость диэлектрической проницаемости лесного фонда от климатических факторов при радиочастотном мониторинге // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 2 (34). С. 28–36. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.28

**Целью** настоящих исследований было получение функциональной зависимости комплексной диэлектрической проницаемость  $\epsilon_k$  участка леса при радиочастотном мониторинге в зависимости от климатических факторов на основе аппарата нечёткого моделирования.

Разработка модели предусматривала решение следующих **задач**:

1) выполнение содержательной постановки задачи нечёткого моделирования комплексной диэлектрической проницаемости в зависимости от климатических факторов;

2) определение нечётких функций принадлежности для входных и выходных переменных задачи (приведение к нечёткости);

3) разработка базы правил нечёткой продукции;

4) синтез нечёткой модели зависимости комплексной диэлектрической проницаемости от входных параметров средствами Fuzzy Logic Toolbox приложения MatLab.

**Объекты и методы.** *Выполнение содержательной постановки задачи моделирования диэлектрической проницаемости участка леса.* В методике [13–15] содержательная постановка задачи используется для того, чтобы представить данные об основных параметрах лесного фонда в форме определённых эвристических правил, моделирующих диэлектрическую проницаемость участка леса. В этом случае выполняется описание поведения или состояния объекта и его диэлектрической проницаемости в зависимости от сочетания основных влияющих параметров. В данном случае эта процедура выполняется одновременно с формированием базы основных правил системы нечёткого вывода, а в содержательном описании задачи определены наиболее специфические особенности моделирования диэлектрической проницаемости.

Рассмотрим в первую очередь влажность, температуру воздуха, которые влия-

ют на величину диэлектрической проницаемости. Предположим, что другие влияющие параметры свойства лесной среды, породный состав, плотность насаждений, полнота деревьев, конструктивные параметры сети закреплены на одном уровне.

Как известно, с увеличением влажности диэлектрическая проницаемость также увеличивается и здесь оказывается прямо пропорциональное влияние.

Изменение температуры значительно менее влияющий фактор, но при повышении температуры воздуха его относительная влажность увеличивается, что способствует увеличению диэлектрической проницаемости. Зависимость здесь будет нелинейная, т. к. при температуре ниже нуля и после примерно «минус» 10 снижение температуры влияет на диэлектрическую проницаемость значительно слабее. Один из специфических режимов работы сети радиочастотного мониторинга будет наблюдаться в зимнее время и, преимущественно, для еловых лесонасаждений, так как в это время на линии распространения сигналов будет присутствовать снег. Наличие снега на деревьях значительно увеличивает диэлектрическую проницаемость.

Для дальнейшей постановки задачи необходимо определить нечёткие функции принадлежности и базу правил нечёткой продукции.

**Результаты и обсуждение.** *Определение нечётких функций принадлежности для входных и выходных переменных задачи (приведение к нечёткости).* Определим формально комплексную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_k$  участка лесной среды (полога) и значения входных климатических величин в следующем виде:

$$\epsilon_k = f(T, W),$$

где  $T$  – температура окружающей среды, °С;  $T$  изменяется от  $-30$  до  $+30$  °С;  $W$  – влажность воздуха, %; от 30 до 90 %.

Комплексная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_k$  в данном случае с учётом предварительных экспериментальных ис-

следований [1, 10, 12] принимает значения в диапазоне от 0 до 70 Ф/м.

Будем полагать, что терм-множества значений лингвистических переменных представлены треугольными нечёткими числами, а на границах области определения сигмоидальными нечёткими интервалами (рис. 1). Выбор сигмоидальных функций, а не традиционно используемых трапецеидальных, позволяет получить более сглаженную результирующую функцию. На рис. 1, а, б показаны функции принадлежности входных переменных «Температура  $T$ » и «Влажность  $W$ », а на рис. 1, в приведена нечёткая функция принадлежности лингвистической выходной переменной «Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_k$ ».

Во многих случаях при решении подобных задач [14, 15] на универсуме нечёткого множества принимают минимальное значение функции принадлежности равное трём, что позволяет ограничиться небольшим объёмом базы правил. Но в таких случаях, в зависимости от размерности параметров, выходная величина аппроксимируется менее гладкой, ступенчатой функцией. В данном случае будет целесообразно принять пять значений входных и выходной лингвистических переменных.

В качестве обозначений лингвистических переменных для предложенных

функций приняты следующие значения: «Минимальная» – Мин; «Малая» – М; «Средняя» – СР; «Большая» – Б; «Максимальная» – Мах.

В терминах теории нечётких множеств лингвистические переменные определены терм-множествами со следующими значениями:

- «Температура  $T$ » {Мин, М, СР, Б, Мах};
- «Влажность  $W$ » {Мин, М, СР, Б, Мах};
- «Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_k$ » {Мин, М, СР, Б, Мах}.

Принятые нечёткие функции принадлежности для вывода функции  $\epsilon_k = f(T, W)$  показаны на рис. 1.

*Формирование базы правил системы нечёткого вывода.* Для нечёткого вывода функции принадлежности используем метод Мамдани [14, 15], что предполагает разработку базы правил нечёткой продукции.

Опишем влияние некоторых сочетаний входных воздействий на выходной параметр:

если  $T = \text{«Минимальная»}$  и  $W = \text{«Минимальная»}$ , То  $\epsilon_k = \text{«Минимальная»}$ ;

если  $T = \text{«Максимальная»}$  и  $W = \text{«Максимальная»}$ , То  $\epsilon_k = \text{«Максимальная»}$ ;

если  $T = \text{«Минимальная»}$  и  $W = \text{«Малая»}$ , То  $\epsilon_k = \text{«Минимальная»}$ .

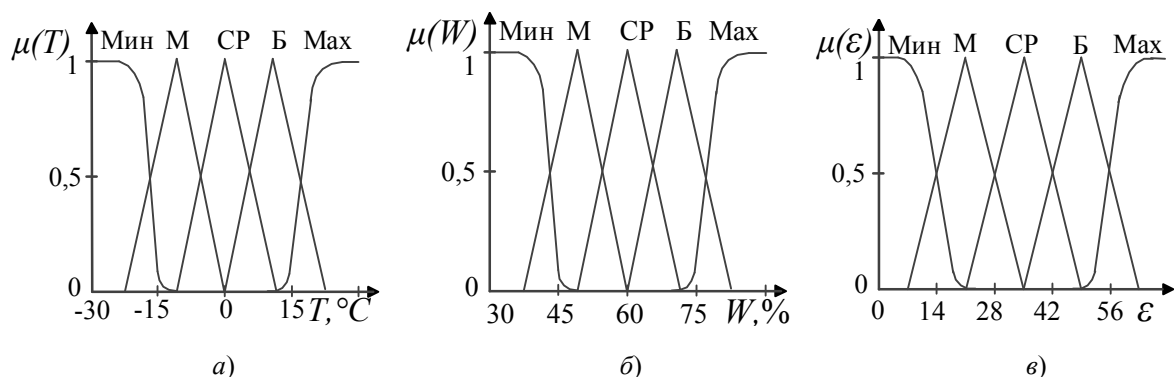


Рис. 1. Нечёткие функции принадлежности лингвистических переменных для вывода функции  $\epsilon_k = f(T, W)$ : а – «Температура  $T$ »; б – «Влажность  $W$ »; в – «Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_k$ »

**Состав базы правил нечёткой продукции для моделирования величины диэлектрической проницаемости  $\epsilon_k = f(T, W)$**

Значения лингвистической переменной «Влажность $W$ »	Значения выходных нечётких подмножеств «Диэлектрическая проницаемость $\epsilon_k$ » при изменении нечеткой функции «Температура $T$ »				
	Мин	М	СР	Б	Мах
Мин	Мин	М	М (0,8)	СР	СР
М	Мин	М	СР	СР	СР
СР	М	М	СР	СР	Б
Б	М	СР	СР	Б	Мах
Мах	СР	СР	Б	Мах	Мах

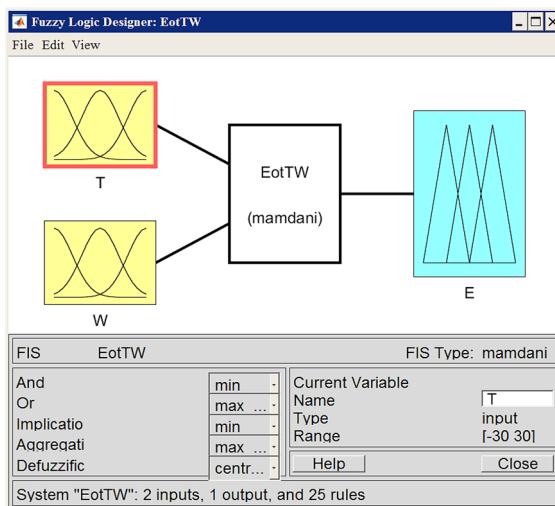


Рис. 2. Схема нечёткого вывода в среде MatLab [13]

Используя описание вариантов сочетаний входных параметров ( $T$  и  $W$ ), а также большее количество значений лингвистических переменных, например, «Средняя», «Большая», «Малая» и специфических особенностей явления, можно формализовать базу правил нечёткого вывода функции диэлектрической проницаемости (см. табл.).

Следует указать, что для правила:

если  $T =$  «Средняя» и  $W =$  «Минимальная», то  $\epsilon_k =$  «Малая», принят весовой коэффициент 0,8, что выражает степень достоверности этого значения.

Нечёткий вывод результирующей функции выполнен по методу Мамдани [14, 15]. Схема вывода в MatLab-формате приведена на рис. 2.

**Синтез нечёткой модели зависимости диэлектрической проницаемости.** Изложенная формальная постановка задачи нечёткого вывода позволяет реализовать её в специализированных компьютерных программах.

Реализация задачи нечёткого вывода выполнена в среде FIS Editor приложения MatLab [16]. Процедура вывода показана на рис. 3. В данном случае использовался алгоритм по известной [14, 15] методике:

- 1) фаззификация (введение нечёткости) (рис. 3, а, в);
- 2) формирование базы правил нечёткой продукции (рис. 3, г);
- 3) нечёткий вывод (рис. 3, д);
- 4) дефаззификация (приведение к чёткости) (рис. 3, е);
- 5) получение конечной функции нечёткого вывода (рис. 3, е).

Полученная в результате нечёткого вывода функция является достаточно корректной математически и может использоваться для прогнозирования величины комплексной диэлектрической проницаемости участка леса при различных климатических параметрах в процессе радиочастотного мониторинга.

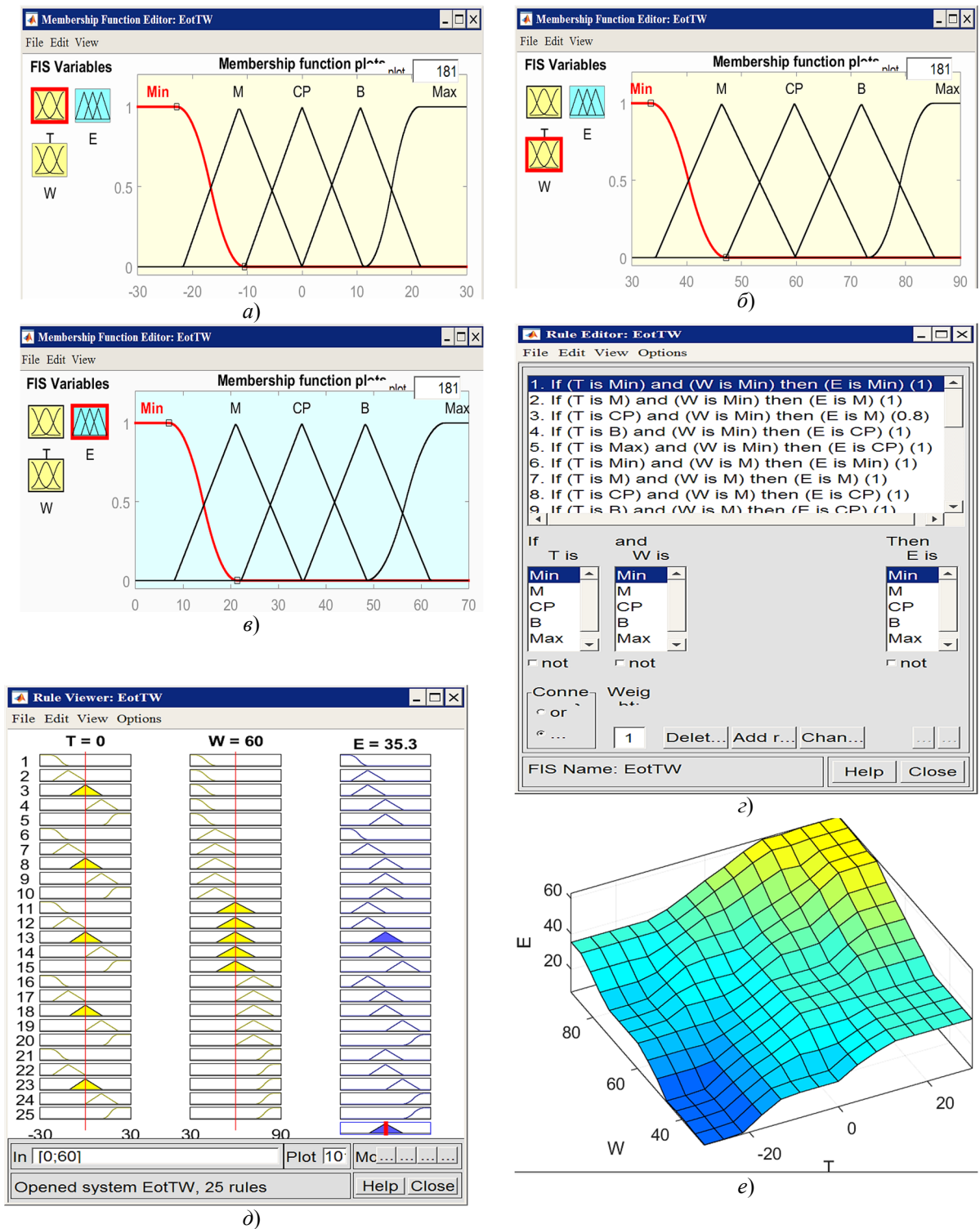


Рис. 3. Нечёткий вывод функции  $\epsilon_k = f(T, W)$  в среде FIS Editor приложения MatLab: а – нечёткая функция принадлежности переменной «Температура T»; б – нечёткая функция принадлежности переменной «Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_k$ »; в – нечёткая функция принадлежности лингвистической переменной «Влажность W»; г – база правил нечёткого вывода; д – процедура нечёткого вывода и приведения к чёткости; е – функция нечёткого вывода диэлектрической проницаемости

Проведённые исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. В настоящее время совершенствование методов исследований параметров лесной среды при радиочастотном мониторинге невозможно без применения интеллектуальных программных систем и компьютерных средств.

Предложенная постановка задачи нечёткого моделирования диэлектрической проницаемости участка леса и реализация соответствующего программного обеспечения в среде MatLab позволяет эффективно использовать информационные технологии в исследованиях, моделировании и совершенствовании систем радиочастотного мониторинга лесного фонда.

2. Разработка модели оценки диэлектрической проницаемости участка леса с привлечением статистических методов является чрезвычайно трудоёмкой и будет недостаточно корректным подходом. Для условий такого класса задач в наибольшей мере подходит аппарат нечётких множеств.

3. Предлагаемая функция диэлектрической проницаемости участка леса, построенная на основе нечёткого вывода, учитывает основные климатические параметры, а сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными показывает на достаточную адекватность разработанной модели, что позволяет реализовать принципиально новый подход к решению задачи.

#### Список литературы

1. Герц Э.Ф., Санников С.П., Соловьев В.М. Использование радиочастотных устройств для мониторинга экологической ситуации в лесах // Аграрный вестник Урала. 2012. № 1(93). С. 37–39.
2. Дьячкова А.А., Серков П.А. Система лесного мониторинга, основанная на методе радиочастотной томографии // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. № 43. С. 11–13.
3. Шитлов В.В., Серков П.А., Санников С.П. Определение параметров дерева сканером электромагнитного излучения оптического диапазона // Лесотехнические университеты в реализации концепции возрождения инженерного образования: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: матер. X Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. С. 123–126.
4. Дьячкова А.А., Серков П.А., Крюк В.И. Дистанционная система мониторинга отдельного участка леса // Леса России и хозяйство в них. 2014. № 2(49). С. 13–15.
5. Дьячкова А.А., Серков П.А. Радиочастотная томография. Моделирование системы мониторинга леса предложенным методом // Путь науки. 2015. № 3 (13). С. 31–33.
6. Петряев В.Е., Герц Э.Ф. Использование RFID технологии для борьбы с незаконной вырубкой леса // Повышение инновационных исследований. Сборник статей междунауч.-практ. конф. 15.04.2016 г. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2016. С. 1–9.
7. Система раннего предупреждения пожаров на основе мониторинга лесов / В.Г.Лисиенко, Э.Ф.Герц, Е.М.Шлеймович и др. // Материалы десятого международного симпозиума «Проблемы экоинформатики (совместно со школой-семинаром молодых ученых)». М.: Институт радиотехники и электроники РАН; Институт проблем экоинформатики РАН, 2012. С. 26 – 29.
8. Петряев В.Е., Герц Э.Ф., Перепечина Т.А. Мониторинг леса для борьбы с незаконной вырубкой с помощью RFID технологий // Научные исследования и разработки молодых ученых. 2016. № 9-1. С. 144–147. URL: [http://elibrary.ru/download/elibrary\\_25777404\\_37903573.pdf](http://elibrary.ru/download/elibrary_25777404_37903573.pdf) (дата обращения: 19.03.2017).
9. Петряев В.Е., Герц Э.Ф., Дьячкова А.А. Управление лесами в России. Государственная инвентаризация леса // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сборник науч. трудов. Брянск: БГИТУ, 2015. Вып. 43. С. 40–42.
10. Санников С.П., Серебренников М.Ю., Серков П.А. Влияние анизотропных характеристик леса на распространение радиочастотного сигнала RFID метки // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2; URL: [www.science-education.ru/108-8623](http://www.science-education.ru/108-8623) (дата обращения: 19.03.2013).
11. Векторная структура излучения, отраженного лесным покровом земли / В.П. Якубов., Е.Д. Тельпуховский, В.Д. Чуйков и др. // Журнал радиоэлектроники. 2000. № 12. С. 1–6.
12. Попов В.И. Распространение радиоволн в лесах: Научное издание. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 392 с.
13. Заблотский А.М., Шошина К.В., Алешко Р.А. Разработка мобильного приложения для таксатора // Молодой ученый. Вып. № 13.1 (93.1). 2015. С. 12–15.
14. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: Монография. М.: БИНОМ, 2009. 798 с.

15. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fussyTECH. Научное издание. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

16. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a. URL: <http://www.mathworks.com> (дата обращения: 11.04.2013).

Статья поступила в редакцию 03.02.17.

### Информация об авторах

*САННИКОВ Сергей Петрович* — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов и производств, радиочастотный мониторинг леса. Автор 160 публикаций.

*ПОБЕДИНСКИЙ Владимир Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры сервиса и технической эксплуатации, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – роторные окорочные станки с автоматическим управлением, нечёткое и имитационное моделирование, технологическая эксплуатация транспортных и технологических машин. Автор 210 публикаций.

*БОРОДУЛИН Игорь Викторович* – аспирант кафедры сервиса и технической эксплуатации, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – мониторинг лесного фонда и транспортировки лесоматериалов.

*ПОБЕДИНСКИЙ Андрей Анатольевич* – соискатель кафедры автоматизации производственных процессов, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – мониторинг лесного фонда и технология лесозаготовок. Автор 10 публикаций.

UDC 630.52:587/588

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.28

### DEPENDENCE OF DIELECTRIC PERMITTIVITY OF FOREST FUND BY CLIMATIC FACTORS IN RADIO FREQUENCY MONITORING

*S. P. Sannikov, V. V. Pobedinskiy, I. V. Borodulin, A. A. Pobedinskiy*

Ural State Forest Engineering University,  
37, Sibirskiy tract, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation  
E-mail: ssp-54@mail.ru; pobed@el.ru

**Keywords:** *radio frequency monitoring of forest fund; complex dielectric permittivity of the forest area; climatic parameters; fuzzy modeling; fuzzy inference.*

#### ABSTRACT

**Relevance.** *It is planned to elaborate new systems for forest monitoring to fulfill the priority tasks determined by the Government of the Russian Federation. In this connection, the most effective terrestrial radio frequency monitoring system was proposed in the paper. For the design of the system, the values of the most important parameter- complex dielectric permittivity of forest environment (CDPFE) - are needed. Determining of this value with a wide range of climatic conditions is an extremely difficult task to fulfill. Traditional methods are inefficient in this case. Consequently, lack of a method to assess the necessary parameter of forest environment did not make it possible to design a new monitoring system and to solve the priority task. This situation predetermined the purpose of the research, which consisted in developing of a method for obtaining the functional dependence of the CDPFE on climatic factors. Tasks.* *To achieve the goal, the following tasks were solved: 1) grounding of the fuzzy functions implements; 2) elaboration of the rule data base of fuzzy products; 3) choice of the method of fuzzy inference; 4) implementation of fuzzy inference and reduction to clarity with obtaining the resulting functional dependence. Methodology.* *The methods of fuzzy modeling was used, the choice of the methods is justified by the specifics of the initial data on climatic factors - temperature and humidity of environment. They are characterized by uncertainty, inadequacy, inaccuracy and other indicators that take into account different types of fuzziness. Mathematically, such problem can be formalized on the basis of the apparatus of fuzzy modeling only. Decision.* *A meaningful statement of the problem involved the formalization of heuristic rules that model the CDPFE, depending on the combination of the influencing parameters. To bring the task to fuzziness, the corresponding linguistic variables are substantiated. For a fuzzy conclusion, the Mamdani method is chosen, and the reduction to clarity is carried out using the center of gravity method. Synthesis of the fuzzy model is carried out by means of MatLab. Discussion.* *The resulting function is mathematically correct, and the comparison of the calculated data with the known experimental data shows sufficient adequacy to the real conditions. Conclusion.* *The proposed function of CDPFE can be recommended for the design of radio frequency systems for forest monitoring.*

## REFERENCES

1. Gertz E.F., Sannikov S.P., Solovov V.M. Ispolzovanie radiochastotnykh ustroystv dlya monitoringa ekologicheskoy situatsii v lesakh [Use of Radio-Frequency Devices to Monitor Ecological Situation in Forests]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian. Vestnik of Ural]. No 1(93). Ekaterinburg: AVU, 2012. Pp. 37-39.
2. Dyachkova A.A., Serkov P.A. Sistema lesnogo monitoringa, osnovannaya na metode radiochastotnoy tomografii [A System of Forest Monitoring, Based on the Method of Radio-Frequency Imaging]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa* [Current Problems of Timber Complex]. Bryansk: BGITA: 2015. No 43. Pp. 11-13.
3. Shipilov V.V., Serkov P.A., Sannikov S.P. Opredelenie parametrov dereva skanerom elektromagnitnogo izlucheniya opticheskogo diapazona [Definition of Tree Parameter by Scanner of Electromagnetic Radiation of the Optical Range]. *Lesotekhnicheskie universitety v realizatsii kontseptsii vozrozhdeniya inzhenernogo obrazovaniya: sotsialno-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa: mater. X Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Forest-Engineering Universities in Implementation of the Concepts of Engineering Education New Birth: Social-Economic and Ecological Problems of Timber Complex: proceedings of X International Research and Engineering Conference]. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2015. Pp. 123-126.
4. Dyachkova A.A., Serkov P.A. Kruk V.I. Distantionnaya sistema monitoringa otdelnogo uchastka lesa [Remote System of Monitoring of a Certain Area of Forest]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Russian Forests and Management System in Russian Forests]. Ekaterinburg: USFEU. 2014. No 2(49). Pp. 13-15.
5. Dyachkova A.A., Serkov P.A. Radiochastotnaya tomografiya. Modelirovanie sistemy monitoringa lesa predlozhennym metodom [Radio-Frequency Imaging. Simulation of the System of Forest Monitoring by the Offered Method]. *Put nauki* [Way of Science]. 2015. No 3(13). Pp. 31-33.
6. Petryaev V.E., Gertz E.F. Ispolzovanie RFID tekhnologii dlya borby s nezakonnoy vyrubkoy lesa [Use of RFID technologies to Fight Against Illegal Forest Clearing]. *Povyshenie innovatsionnykh issledovaniy. Sbornik statey mezhd.nauch.-prakt.konf. 15.04.2016* [Improvement of Innovative Studies. Collected papers of International Research and Practical Conference of 15.04.2016]. Penza: MTSNS «Nauka i prosveshchenie». 2016. Pp. 7–9.
7. Lisienko V.G., Gertz E.F., Shlyemovich E.M., et al. Sistema rannego preduprezhdeniya pozharov na osnove monitoringa lesov [System of Early Fire Prevention on the Basis of Forest Monitoring]. *Materialy desyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Problemy ekoinformatiki (sovmestno so shkoly-semi-narom molodykh uchennykh)* [Proceedings of X International Symposium “Problems of Eco-Informatics” together with school-seminar of young scientists]. Moscow: Institut radiotekhniki i elektroniki RAN; Institut problem ekoinformatiki RAEN, 2012. Pp. 26 - 29.
8. Petryaev V.E., Gertz E.F., Perepechina T.A. Monitoring lesa dlya borby s nezakonnoy vyrubkoy s pomoshchu RFID tekhnologii [Forest Monitoring to Fight against Illegal Forest Clearing Using RFID Technology]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchennykh* [Scientific Studies and Elaborations of Young Scientists]. 2016. 9-1. Pp. 144-147. URL: [http://elibrary.ru/download/elibrary\\_25777404\\_37903573.pdf](http://elibrary.ru/download/elibrary_25777404_37903573.pdf) (Reference date: 19.03.201).
9. Petryaev V.E., Gertz E.F., Dyachkova A.A. Upravlenie lesami v Rossii. Gosudarstvennaya inventarizatsiya lesa [Forest Management in Russia. State Forest Inventory]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa. Sbornik nauch. Trudov* [Current Problems of Timber Complex. Collected papers]. Bryansk: BGI-TU, 2015. No 43. Pp. 40-42.
10. Sannikov S.P., Serebrennikov M.Yu., Serkov P.A. Vliyanie anizotropnykh kharakteristik lesa na rasprostraneniye radiochastotnogo signala RFID metki [The Influence of Anisotropic Characteristics of Forest on Spreading of Radio-Frequency Signal of RFID Marks]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2013, No 2. URL: [www.science-education.ru/108-8623](http://www.science-education.ru/108-8623) (Reference date: 19.03.2013).
11. Yakubov V.P., Telpukhovskiy E.D., Chuikov V.D., et al. Vektornaya struktura izlucheniya, otrazhennogo lesnym pokrovom zemli [Vector Structure of Radiation, Reflected by Forests]. *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of Radioelectronics]. Moscow: 2000. No 12. Pp. 1–6.
12. Popov V.I. Rasprostraneniye radiovoln v lesakh [Spreading of Radio Waves in Forests]. *Nauchnoe izdanie* [Scientific Publication]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2015. 392 p.
13. Zablotskiy A.M., Shoshina K.V., Aleshko R.A. Razrabotka mobilnogo prilozheniya dlya taksatora [Development of Mobile Application for Taxator]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist]. Issue 13.1 (93.1). 2015. Pp. 12-15.
14. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie [Fuzzy Modeling and Management]. Moscow: BINOM, 2009. 798 p.
15. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MatLab i fussyTECH [Fuzzy modeling in MatLab and fussyTECH]. Nauchnoe izdanie [Scientific Publication]. Saint-Petersburg: BKHV-Petersburg, 2005. 736 p.
16. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a. URL: <http://www.mathworks.com> (Reference date: 11.04.2013.).

The article was received 03.02.17.



**For citation:** Sannikov S. P., Pobedinskiy V. V., Borodulin I. V., Pobedinskiy A. A. Dependence of Dielectric Permittivity of Forest Fund by Climatic Factors in Radio Frequency Monitoring. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2017. No 2(34). Pp. 28–36. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.2.28

#### Information about the authors

*SANNIKOV Sergey Petrovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Chair of Automation of Production Processes, Ural State Forest Engineering University. Research interests – automation of production processes, radio-frequency forest monitoring. The author of 160 publications.

*POBEDINSKIY Vladimir Victorovich* – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Chair of Service and Maintenance, Ural State Forest Engineering University. Research interests – automatically controlled cambium-shear debarker, fuzzy and simulation modeling, technological use of transport and technological machines. The author of 210 publications.

*BORODULIN Igor Victorovich* – Postgraduate student at the Chair of Service and Maintenance, Ural State Forest Engineering University. Research interests – monitoring of timber fund and timber transportation.

*POBEDINSKIY Andrey Anatolyevich* – degree-seeking applicant at the Chair of Automation of Production Processes, Ural State Forest Engineering University. Research interests – monitoring of timber fund, logging technology. The author of 10 publications.