

УДК 630\*31

## Сезонное районирование транспортного освоения земель лесного фонда с применением теории нечетких множеств

А.В. Андрейчук<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия  
Статья поступила 16.11.2011, принята 12.02.2012

*Для рациональной организации лесозаготовительного производства (ЛЗП) возникает необходимость типизации природно-климатических условий для более точной технико-экономической оценки лесных территорий по ряду признаков. Особенностью лесозаготовок является зависимость технологического процесса от сезонно-климатических условий. Сезон заготовки древесины обусловлен характерными различиями погодных условий между летним и зимним периодом работ, а также межсезоньем во время весенней и осенней распутицы. Грунтово-гидрологическое состояние лесных дорог и технологических путей, их несущая способность значительно меняются в течение года, что сильно влияет на производительность машин при транспортно-технологических операциях в лесу. Нужно учесть, что в зимний период, прежде всего, необходимо разрабатывать лесосеки со слабыми и заболоченными грунтами, где летом работа лесосечных и транспортных средств затруднена. Строительство дорог круглогодичного действия на таких участках, как правило, экономически невыгодно. Рациональное разделение лесосечного фонда, арендуемого ЛЗП, на сезонно-климатические зоны заготовки и вывозки древесины позволит существенно снизить долю затрат на транспорт в себестоимости лесозаготовительного производства. В статье рассмотрен вопрос климатического районирования лесных территорий на зоны летней и зимней заготовки и вывозки древесины с использованием математической теории нечетких множеств. Предложена реализация нечеткой модели в системе компьютерной математики MATLAB с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox. Произведено апробирование предложенной методики на базе Лисинского участкового лесничества с поквартальной и поведельной степенью приближения.*

**Ключевые слова:** транспортное освоение, сезонное районирование, теория нечетких множеств, географическая информационная система.

## Transport developing seasonal zoning of forest resources areas using fuzzy set theory

A.V. Andreichuk<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forest Technical Academy, 5, Institutsky per., St. Petersburg, Russia  
Received 16.11.2011; Accepted 12.02.2012

*In order to have logging process organized properly, it is essential to classify climatic conditions for more precise forest territory estimation. The feature of lumbering is its dependence on seasonal and climatic conditions. Lumbering season is characterized by considerable difference between summer and winter weather conditions and low season slush. The ground and hydrographic state of forest roads and work tracks together with its bearing capacity vary considerably throughout the year, and thus affect machine productivity. In winter it is important to develop first of all soft and swampy cutting areas, which are hard to work in summer. As a rule, it is not economically expedient to build all-year roads in such areas. It is possible to divide cutting areas into seasonal and climate units to minimize logging and transportation costs. The article treats the problem of forest areas climatic zoning with forming two classes – summer and winter wood logging and transportation, using mathematical fuzzy set theory. This fuzzy set model has been implemented in MATLAB computer application by means of Fuzzy Logic Toolbox. The proposed method has been tested in Lisinskoye forestry applying per quarter and per stratum approximation.*

**Keywords:** transport development, seasonal zoning, fuzzy sets theory, geographical information system.

Спецификой лесозаготовок являются географическая разбросанность, сезонность производства и зависимость от почвенно-грунтовых условий. Перед лесозаготовителем возникает важная задача рационального разделения арендуемых лесных массивов на климатические зоны заготовки и вывозки с учетом основных факторов сезонности. В настоящее время вопрос сезонного районирования решается субъективно, исходя

из личного опыта специалиста, принимающего решение [1].

Потребность проектирования рациональных сезонных зон транспортного освоения арендуемых участков лесного фонда вытекает прежде всего из экономических соображений в целях снижения себестоимости транспорта древесины с уменьшением эксплуатационных и капитальных затрат на дорожное строительство.

\* E-mail address: Andreichuk07@mail.ru

Возникает потребность разработки методики сезонного районирования, которая позволила бы обосновать отнесение лесных площадей к тому или иному сезону лесозаготовок с учетом особенностей климата региона и эксплуатационных характеристик лесных насаждений.

Существенный рост эффективности оперирования с исходными данными привел к бурному развитию экспертных систем, сравнительных математических методов и распределенных баз данных. В настоящее время все шире используются методы искусственного интеллекта, основанные на нечеткой математике и логике «нечетких множеств», позволяющие автоматизировать экспертную обработку информации и разрабатывать новые методы интерпретации геофизических данных. Объясняется это, по крайней мере, двумя причинами. Во-первых, работа с большими объемами информации, в частности, ее интерпретация и анализ, с одной стороны, требуют высокой квалификации специалиста, с другой стороны, это оказывается часто практически нереализуемо ввиду огромных объемов данных, подлежащих обработке. Работа на уровне хорошего эксперта редко может быть сведена к некоторому аналитическому процессу, поддающемуся формальному описанию на языке обычной математики. Тем не менее, эта деятельность поддается алгоритмизации. Так возникает необходимость создания алгоритмов, ориентированных на моделирование деятельности специалиста-эксперта в той или иной области.

Экспертные системы отличаются от систем обработки данных тем, что в них в основном используются символьный, а не числовой, способ представления информации, символьный вывод и эвристический поиск.

Суждения, свойственные качественной оценке процессов человеком, обозначают явления, как подмножества в координатах: уровень достоверности – интервал достоверности. Основной особенностью применения математической теории нечетких множеств является однозначность факта принадлежности (непринадлежности) множеству [2].

Теория нечетких множеств позволяет описывать качественные неточные понятия и знания об окружающем мире, а также оперировать этими понятиями с целью получения новой информации. Основанные на этой теории методы построения информационных моделей существенно расширяют традиционные области применения компьютеров и образуют самостоятельное направление научно-прикладных исследований, которое получило специальное название – нечеткое моделирование.

Для конструктивного решения подобных задач разработан специальный математический аппарат нечеткого моделирования. Достоинством таких моделей является возможность получения новой информации о проблемной области в форме некоторого прогноза. Это позволяет разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной информации [3].

Задача сезонного районирования заготовки и вывозки древесины реализована в системе компьютерной

математики MATLAB 7.9.0. с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox.

Система MATLAB (сокращение от англ. MATrix LABoratory – матричная лаборатория) представляет собой интегрированную программную среду для выполнения численных расчетов, компьютерного моделирования и вычислительных экспериментов, охватывающих в том или ином объеме различные области классической или современной математики, а также широчайший спектр инженерных приложений.

Архитектурно система MATLAB состоит из базовой программы и нескольких десятков так называемых пакетов расширений, которые в своей совокупности обеспечивают исключительно широкий диапазон решаемых задач.

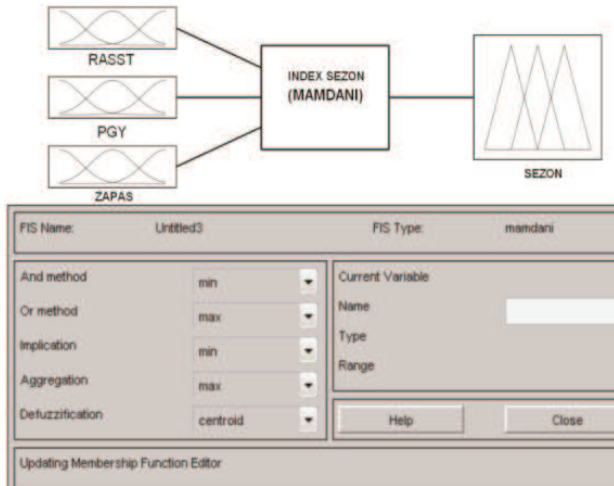
Нечеткое моделирование в среде MATLAB осуществляется с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox, в котором реализованы десятки функций нечеткой логики и нечеткого вывода.

Содержащая специальные средства нечеткого моделирования система MATLAB позволяет выполнять весь комплекс исследований по разработке и применению нечетких моделей. Именно по этим причинам система MATLAB была выбрана в качестве программного средства, в рамках которого можно реализовать теоретические концепции нечетких множеств и процедуры нечеткого вывода при сезонном районировании земель лесного фонда.

Рассмотрим пример создания нечеткой модели сезонного районирования лесных территорий. Центральное место в нечетком моделировании занимает база правил нечетких продукций.

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем рассматривать три нечеткие лингвистические переменные: «расстояние вывозки», «почвенно-грунтовые условия» и «запас древесины на 1 га эксплуатационной площади», а в качестве выходных параметров – нечеткую лингвистическую переменную «сезон лесозаготовки».

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной «расстояние вывозки» будем использовать множество  $T_1 = \{\text{«близко»}, \text{«далеко»}\}$ , для терм-множества второй лингвистической переменной «почвенно-грунтовые условия» применим множество  $T_2 = \{\text{«сухие»}, \text{«мокрые»}\}$ , для третьей лингвистической переменной «запас древесины на 1 га эксплуатационной площади» применим множество  $T_3 = \{\text{«малый»}, \text{«большой»}\}$ . В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной «сезон лесозаготовки» используем множество  $T_4 = \{\text{«лето»}, \text{«зима»}\}$ . Данная процедура выполняется в редакторе систем нечеткого вывода FIS (рис. 1), который является основным средством, используемым для создания и редактирования систем нечеткого вывода в графическом режиме. Эта функция предоставляет пользователю возможность задавать и редактировать на высоком уровне свойства системы нечеткого вывода, такие, как число входных и выходных переменных, тип системы нечеткого вывода, используемый метод дефазификации и т. д.



**Рис.1.** Графический интерфейс редактора системы нечеткого вывода FIS.

Каждый из термов входных переменных оценивается по различным порядковым шкалам, при которых каждой цифре соответствует оценка, полученная от группы экспертов. На рис. 2 представлен редактор функций принадлежности с изображением лингвистической переменной «запас древесины на 1 га эксплуатационной площади». Что касается термов входной переменной, то будем предполагать, что летнему сезону лесозаготовки соответствует численный интервал (0;1), а для зимнего сезона диапазон чисел (1;2).

Нечеткое моделирование допускает широкое варьирование и дифференциацию терм-множеств лингвистических переменных, а также применение различных функций принадлежности, что расширяет возможности использования модели.

Сформулируем правила нечетких продукций следующего вида (система нечеткого вывода типа Мамдани).

**ПРАВИЛО 1:** ЕСЛИ «расстояние вывозки близко», ТО «сезон заготовки – лето».

**ПРАВИЛО 2:** ЕСЛИ «расстояние вывозки далеко», ТО «сезон заготовки – зима».

**ПРАВИЛО 3:** ЕСЛИ «почвенно-грунтовые условия сухие», ТО «сезон заготовки – лето».

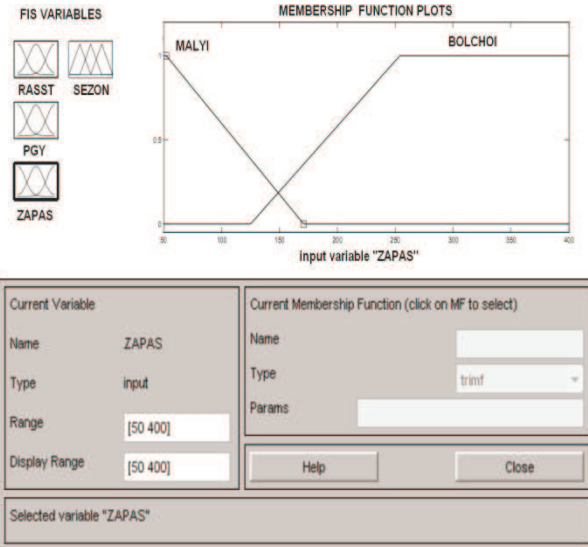
**ПРАВИЛО 4:** ЕСЛИ «почвенно-грунтовые условия мокрые», ТО «сезон заготовки – зима».

**ПРАВИЛО 5:** ЕСЛИ «запас древесины на 1 га эксплуатационной площади малый», ТО «сезон заготовки – зима».

**ПРАВИЛО 6:** ЕСЛИ «запас древесины на 1 га эксплуатационной площади большой», ТО «сезон заготовки – лето».

После задания правил нечеткого вывода оказывается возможным получить результат нечеткого вывода (значение выходной переменной) для конкретных значений входных переменных. Для этого воспользуемся программой просмотра диаграмм нечеткого вывода (рис. 3).

Далее можно выполнить оценку системы нечеткого вывода для задачи автоматизации управления лесозаготовками с учетом сезонности. С этой целью вводятся значения входных переменных для частного случая в поле Input.

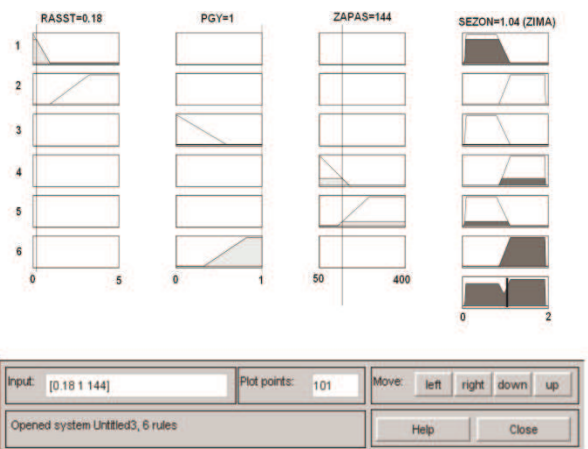


**Рис. 2.** Редактор функции принадлежности «mfedit» с изображением лингвистической переменной «запас древесины на 1 га эксплуатационной площади».

Процесс анализа и исследования построенной нечеткой модели включает в себя выполнение нечетких выводов для различных значений входных переменных и оценки полученных результатов с целью установления адекватности модели и внесения в нее необходимых изменений в случае несогласованности отдельных результатов.

Для общего анализа разработанной нечеткой модели может оказаться полезной визуализация соответствующей поверхности нечеткого вывода (рис. 4).

Данная поверхность нечеткого вывода позволяет установить зависимость значений выходной переменной от значений входных переменных нечеткой модели системы управления сезонным районированием лесозаготовками. Эта зависимость служит основой для аппаратной реализации соответствующего нечеткого алгоритма управления в виде таблицы решений, в которой определяются сезоны лесозаготовок на повыдельной и поквартальной основе.



**Рис. 3.** Графический интерфейс программы просмотра правил после выполнения процедуры нечеткого вывода для определения индекса сезонности таксационного выдела.



В дополнение к этому, установление данной зависимости является, по сути, решением задачи, известной в классической теории управления, как задача синтеза управляющих воздействий. При этом для решения задачи сезонного районирования лесозаготовок были использованы средства нечеткой логики и теории нечетких множеств.

Разработанная нечеткая модель, была апробирована на базе Лисинского участкового лесничества с поквартальной и повыведельной степенью приближения.

Входные переменные для нечеткого моделирования были получены в результате анализа таксационных описаний, интегрированных в базу данных ГИС MapInfo.

Для определения уровня увлажнения почв лесных территорий (терм-множество «почвенно-грунтовые условия») была принята зависимость, установленная в классификации почвенно-грунтовых условий (по Погребняку) [4]. Причем, различным уровням увлажнения почв присуждались различные веса: «очень сухим» – 0, «сухим» – 0,2; «свежим» – 0,4; «влажным» – 0,6; «сырым» – 0,8; «мокрым» – 1.

Таблицы с результирующими значениями терм-множеств «запас древесины на 1 га эксплуатационной площади» и «расстояние вывозки» были получены при помощи SQL-запросов, реализованных в MapInfo, причем, определялись ближайшие расстояния между центрами масс эксплуатационных запасов в выделе и лесовозной магистралью.

В таблице 1 представлен фрагмент результатов опытных испытаний нечеткой модели сезонного районирования лесозаготовок с повыведельным приближением. Для кварталов выполняются обобщение и агрегирование с учетом приведения повыведельных индексов сезонности к квартальному с расчетом индекса сезонности для каждого квартала по формуле [5]:

$$I_k = \sum_{i=1}^n \frac{S_{Bi} \cdot i_n}{S_k} \quad (1)$$

где  $i = 1..n$  – номер выдела,

$I_k$  – индекс сезонности квартала;  $i_n$  – индекс сезонности выдела, полученный при нечетком моделировании;  $S_{Bi}$  – площадь  $i$ -го выдела, га;  $S_k$  – площадь квартала, га.

Применение нечеткого моделирования в совокупности с географическими информационными системами позволяет получить глубокий анализ данных и решить задачу сезонного районирования транспортного освоения арендной базы лесозаготовительного предприятия. Апробирование разработанной методики на фрагментах лесных массивов показало ее работоспособность и достаточную универсальность.

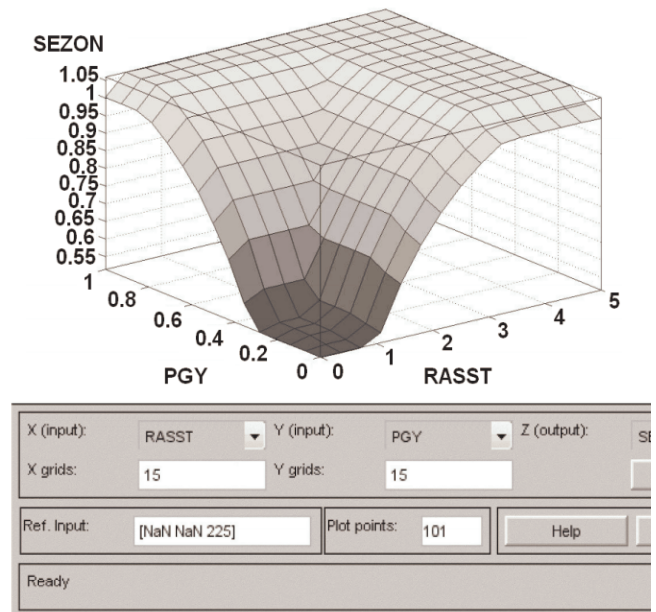


Рис. 4. Визуализация поверхности нечеткого вывода.

Таблица 1

*Протокол вычислительных экспериментов испытаний нечеткой модели сезонного районирования лесозаготовок на базе Лисинского участкового лесничества*

№ кв.	№ выд.	Входные переменные (терм-множества)				Выходные переменные	
		Почвенно-грунтовые условия		Запас древесины на 1 га эксплуатационной площади	Расстояние трелевки (км)	Индекс сезонности (i)	Сезон
		Тип лесорастительных условий					
103	1	C1	0,2	362	0,070	0,507	лето
	2	B5	1	144	0,180	1,040	зима
	3	A5	1	192	0,270	1,060	зима
	4	C1	0,2	382	0,280	0,507	лето
	5	C1	0,2	381	0,400	0,507	лето
	6	A4	0,8	215	0,410	1,150	зима
	7	A3	0,6	265	0,470	0,105	зима
	8	A2	0,4	259	0,580	0,705	лето
	9	C2	0,4	323	0,707	0,989	лето
	1	C3	0,6	381	0,870	1,000	зима

## Литература

1. Андрейчук А.В., Тюрин Н.А., Громская Л.Я. Сезонное районирование транспортного освоения арендуемых лесов лесозаготовительного предприятия // Сухопутный транспорт леса: материалы науч.-техн. конф. СПб, 2009. С. 80-83.
2. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечеткой логики: пер. с англ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 252 с.
3. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
4. Воробьев Д.В., Остапенко Б.Ф. Эдафическая сетка и пользование ею. Труды Харьковского сельскохозяйственного института. Харьков, 1975. Т. 120. С. 9-18.
5. Громская Л.Я. Методика размещения лесных магистралей и веток в арендных лесах лесозаготовительного предприятия // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2011. Вып. 194. С. 72-77

## References

1. Andreychuk A.V., Tyurin N.A., Gromskaya L.Ya. Seasonal transportation zoning of the logging enterprise rented forests // Sukhoputny transport lesa: materialy nauch.-tekhn. konf. SPb, 2009. S. 80-83.
2. Novak V., Perfil'eva I., Mochkorzh I. Fuzzy logic mathematical principles: per. s angl. M.: FIZMATLIT, 2006. 352 s.
3. Leonenkov A. Fuzzy modeling in the MATLAB and fuzzyTECN environment. SPb.: BKhV-Peterburg, 2005. 736 s.
4. Vorob'ev D.V., Ostapenko B.F. Edaphic grid and its application. Trudy Har'kovskogo sel'skohozyaistvennogo instituta. Har'kov, 1975. T.120. S. 9-18.
5. Gromskaya L.Ya. The technique for forest roads and sidetracks layout in rental forests of a logging enterprise // Izvestiya S.-Peterb. Lesotekhn. akad. Vyp. 194. S. 72-77.

УДК 62-531.7

## Динамика пневмодемпферной подвески мотор-вентиляторов электровозов с регулируемыми параметрами

Д.А. Лукьянов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, Чернышевского 15, Иркутск, Россия  
Статья поступила 21.10.2011, принята 12.02.2012

*Проблема снижения виброактивности машинного оборудования в целом, и вспомогательных машин электровозов – в частности, является актуальной. В то же время, при проектировании подобных машин этой проблеме уделяется недостаточное внимание. В известных работах зачастую используются устаревшие методики, не предусматривающие широкое применение систем автоматизированного проектирования и расчета динамических характеристик машинного оборудования в сложном спектре внешних воздействий. В целях уменьшения вибрации мотор-вентиляторов (МВ) электровозов в конструкцию их подвески введены пневматические виброизоляторы с изменяемыми параметрами жесткости (резинорядные элементы). Рассмотрена система виброзащиты, построенная на основе двухкамерных резинорядных элементов (РКЭ), размещенных между опорной рамой мотор-вентилятора (МВ) и основанием. Подкачка воздуха в резинорядных элементах осуществляется от внутренней пневматической сети электровоза только с целью компенсации утечек воздуха и поддержания их работоспособности путем обеспечения начального запаса рабочего хода. Главной особенностью РКЭ является наличие основного (деформируемого) и дополнительного (недеформируемого) объемов, соединенных между собой дросселем с регулируемой площадью проходного сечения. Это позволяет получить регулируемую нелинейную упруго-диссипативную характеристику РКЭ и создает возможность управлять динамическими характеристиками МВ при широком наборе силовых и кинематических возмущений. Используя метод гармонической линеаризации, была получена упругая реакция двухкамерного РКЭ с дросселем переменного сечения и определено сечение дросселя, обеспечивающее наилучшее энергопоглощение в резонансных режимах работы. Получено выражение, определяющее площадь оптимального сечения дросселя в зависимости от давления воздуха в РКЭ. Используя дифференциальные уравнения пространственных колебаний МВ как твердого тела при гармоническом силовом возмущении, были определены амплитудно-частотные характеристики пневматической системы виброзащиты при заданной внешней гармонической нагрузке. По результатам расчетов определены качество виброзащиты в продольном и поперечном направлении, а также оптимальная приведенная величина площади дроссельного отверстия при принятых конструктивных параметрах РКЭ и МВ.*

**Ключевые слова:** мотор-вентилятор, динамические характеристики, жесткость подвески, вибрация, пневматические виброизоляторы, резинорядные элементы.

## Dynamics of pneumatic damping suspension electric fan motor with adjustable parameters

D.A. Lukyanov<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State University of Railway Engineering, 15, Chernyshevskogo str., Irkutsk, Russia  
Received 21.10.2011; Accepted 12.02.2012

*The problem of reducing the vibration of machinery in general and electric auxiliary machines in particular, is important. At the same time in the design of such machines this problem is given insufficient attention. In the well-known works often use outdated me-*

\* E-mail address: loukian@live.ru