

## НЕЙРОНЕЧЕТКАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УСТРОЙСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ

доктор технических наук, профессор **В.В. Побединский**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, профессор **С.И. Булдаков**<sup>1</sup>

кандидат технических наук **А.В. Берстнев**<sup>2</sup>

аспирант **Е.С. Анастас**<sup>1</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, Российская Федерация

2 – КБ «Новатор», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Статья посвящена проблеме совершенствования технологий дорожного строительства, в частности технологических решений устройства лесных дорог. Как известно, в строительстве дорог выбор и обоснование технологических решений дорожного покрытия составляет один из первых этапов проектирования, от эффективности которого будет зависеть весь дальнейший проект в целом, сроки и затраты на строительство. Решение такой задачи является чрезвычайно сложным, в первую очередь, из-за множества взаимосвязанных параметров, факторов, а также неопределенностей данных в задаче. Задача значительно усложняется, когда необходимо учесть еще и экономические показатели проекта дорожного строительства. Но именно в таком виде она и представляет наибольший интерес, т. к. в практике эти характеристики зачастую являются важнейшими. По этим причинам проблема остается в полной мере не решенной, поэтому требует дальнейших исследований, как было отмечено, с учетом неопределенностей в задаче. Для такого класса задач в результате современных достижений в области математики, информационных технологий предлагаются интеллектуальные системы на основе теории нечетких множеств, нейронных сетей и их гибридных решений. Таким образом, целью настоящих исследований была разработка нейронной сети для оценки технологических решений устройства лесных дорог. Результатом исследований явилась разработка адаптивной нейронечеткой сети типа ANFIS, которая позволяет рассчитать стоимость дорожного покрытия в зависимости от основных технологических и исходных финансовых параметров. Для практического использования нейронная сеть может быть рекомендована при проектировании лесных дорог, а также для оперативной оценки эффективности различных технологических решений в ходе конкурсного (тендерного) отбора.

**Ключевые слова:** дорожное строительство; лесная дорога; дорожное покрытие; технологическое решение дорожного покрытия; интеллектуальная система; нейронечеткая сеть

## NEURAL FUZZY NETWORK FOR ASSESSING TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR FOREST ROADS

DSc (Engineering), Professor V V Pobedinsky<sup>1</sup>

PhD (Engineering), Professor S I Buldakov<sup>1</sup>

PhD (Engineering) A V Berstenev<sup>2</sup>

post-graduate student E S Anastas<sup>1</sup>

1 – FSBEI HE "Ural State Forestry University", Yekaterinburg, Russian Federation

2 – CB Novator, Ekaterinburg, Russian Federation

### Abstract

The article is devoted to the problem of improving road construction technologies, in particular, technological solutions for logging roads. As you know, in road construction, the choice and justification of technological solutions for the road surface is one of the first stages of design, the efficiency of which affects further project as a whole, timing and costs of construction. The solution to such a problem is extremely difficult and, first of all, due to the many interrelated parameters, factors, as well as the uncertainties of data in the problem. The task becomes much more complicated when it is also necessary to take into account the economic indicators of road construction project. But it is in this form that it is of the greatest interest, since these characteristics are often the most important in practice. For these reasons, the problem remains completely unsolved. Therefore, requires further research, as noted, taking into account the uncertainties in the problem. Intelligent systems based on the theory of fuzzy sets, neural networks and their hybrid solutions are proposed for this class of problems, as a result of modern achievements in the field of mathematics and information technologies. Thus, the purpose of this research was to develop a neural network for evaluating technological solutions for logging roads. The result of the research was the development of an adaptive neuro-fuzzy network such as ANFIS, which allows calculating the cost of the road surface depending on the main technological and initial financial parameters. The neural network can be recommended for the design of forest roads, as well as for rapid assessment of the effectiveness of various technological solutions during competitive (tender) selection.

**Keywords:** road construction, logging, road surface, road surface technological solution, intelligent system, neural network

### Введение

Одной из важнейших проблем в строительстве дорог является выбор и обоснование технологических решений дорожного покрытия. Решение такой задачи является чрезвычайно сложным, и в первую очередь, из-за множества взаимосвязанных параметров, факторов, а также неопределенностей характеристик в задаче. Задача значительно усложняется, когда необходимо учесть еще и сроки строительства и экономические показатели дорожного покрытия. Но именно в таком виде она и представляет наибольший интерес, т. к. в практике эти характеристики зачастую являются важнейшими.

Традиционно подобные задачи решаются путем упрощения, идеализации моделей, усреднения данных и даже обосновывая игнорирование

различных параметров, доказывая их несущественность. Однако все это ведет, в конечном итоге, в той или иной мере к неточности результатов. Наибольшую трудность, можно считать, вызывают неопределенность, недостаточность и даже отсутствие данных или нечеткость, как это называется в разделе математики – теории нечетких множеств (ТНМ) [8].

Обращаясь к задаче определения технологических решений дорожного покрытия, кроме большого количества расчетных параметров сталкиваемся с целым рядом неопределенностей [2]. Именно для такого класса задач используются практические приложения ТНМ – нечеткое моделирование, нечеткая логика, а также продукционные нейронечеткие сети, являющиеся математическим аппаратом интеллектуальных систем в самых различ-

ных областях человеческой деятельности [1, 3, 5–10].

Таким образом, создание способов оценки технологических решений дорожных покрытий с учетом факторов неопределенности является важной научно-практической проблемой, но отсутствие разработок по этой теме не позволяет эффективно решать проблему и является препятствием дальнейшего совершенствования технологий дорожных работ.

**Целью** исследований являлось совершенствование технологий дорожного строительства с использованием интеллектуальной системы для оценки технологических решений устройства лесных дорог.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

- провести анализ опыта использования приложений теории нечетких множеств, интеллектуальных систем в дорожном строительстве и смежных областях;
- провести анализ источников неопределенности в технологиях дорожных работ;
- выявить качественные закономерности влияния на стоимость строительства лесных дорог основных параметров дорожного покрытия с учетом неопределенностей и выполнить постановку задачи оценки технологических решений дорожных покрытий;
- разработать интеллектуальную систему оценки технологических решений дорожного покрытия в виде нейронечеткой сети в системе MATLAB;
- выполнить обучение нейронной сети;
- выполнить проверку адекватности модели по тестовым примерам.

## 1. Методы и средства исследований

В части методологии исследований использована теория проектирования дорожных покрытий и строительства лесных дорог [2]. Для учета факторов неопределенностей в постановке задачи использована теория нечетких множеств [7], а разработка интеллектуальной системы базируется на методах продукционных нейронечетких сетей гибридного типа ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [6].

## 2. Результаты и обсуждение

### 2.1. Анализ обзора исследований по теме

Вопросам совершенствования технологий дорожного строительства уделялось внимание многих исследователей. В их числе можно назвать профессоров, докторов техн. наук И.Г. Могилевича, В.Ф. Бабкова, В.П. Носова, исследовавших проблему проектирования дорог общего пользования, А.П. Васильева, В.Н. Яромко, изучавших вопросы эксплуатации, строительства дорог, В.В. Подольского в области технологии строительства и экологических аспектов зимнего содержания дорог и других ученых. Совершенствованию лесовозных дорог посвящены работы профессоров, докторов техн. наук В.В. Сиротюка, Н.П. Вырко, В.К. Кирьянова, Э.О. Салминена, Б.С. Юшкова, Ю.Д. Силукова, И.Н. Кручинина.

Проблема проектирования и строительства лесных дорог в систематизированном виде представлена в работах проф. С.И. Булдакова [2], в которых изложена методология устройства дорог такого типа. Все теоретические авторские методики подтверждены экспериментальным путем, поэтому дальнейшая теоретическая постановка задачи базировалась на этих работах.

В процессе проектирования дорожного покрытия используется большое количество параметров. Значительную сложность вызывает то, что все параметры изменяются в широких пределах. При этом параметры являются противоречивыми, т. е. при улучшении одного сразу несколько других ухудшается. Но наибольшую трудность составляет неопределенность данных, используемых в задаче проектирования. На сегодня эта проблема в строительстве дорог решается статистическими методами, однако в условиях недостаточности данных и нерепрезентативности статистических выборок, необоснованности назначения статистических распределений или просто отсутствия данных выбор технологических решений остается в полной мере нерешенной проблемой.

Для такого класса задач с учетом неопределенностей наиболее успешно используются методы нечеткой логики [7], а также интеллектуальных систем в виде экспертных систем или нейронных сетей [1, 4, 8, 9]. Несмотря на эффективность мето-

дов на основе интеллектуальных систем и нечеткой логики, в российской науке в области строительства дорог такие работы практически отсутствуют.

### 2.2. Постановка задачи оценки технологических решений дорожных покрытий

В практике дорожного строительства важнейшим параметром дороги следует назвать стоимость дорожного покрытия, а учитывая технологические требования, даже не всей дороги, а на длине технологической захватки. В свою очередь, длина захватки  $l$  является важнейшим технологическим параметром проекта. От выбранной ее длины будет зависеть весь процесс строительства. Поэтому она рассчитывается, в первую очередь, в зависимости от длины всей дороги, продолжительности периода строительства и объема материала на конструкцию дорожной одежды. Другим значимым параметром следует принять расстояние доставки материалов  $L$ . С последним связаны параметры числа машин  $N$  и стоимость машино-смены  $C$ . Обязательно следует включить в модель величину стоимости материалов (тонна асфальтобетона)  $M$ , что позволит в целом рассчитать стоимость конструкции дорожной одежды  $R$  в пределах технологической захватки.

Таким образом, сформулированная постановка задачи будет выглядеть следующим образом:

$$R = f(l, L, C, M).$$

Для решения задачи с использованием нейронной сети следует определить обучающие выборки входных и выходного параметров. Рекомендованное количество примеров обучающего множества  $Q$  может быть рассчитано по формуле [3]

$$Q = 7N_x + 15, \quad (1)$$

где  $N_x$  – количество входных переменных сети.

В отношении формулы (1) автором [10] отмечается, что она приемлема для построения регрессионных моделей, а для нейронных сетей эмпирически определено достаточное количество примеров в 2-4 раза меньше.

В нашем случае обучение, т. е. обеспечение приемлемой точности, было достигнуто на 6 примерах. Исходные данные, которые были приняты по реальным проектам устройства дорог в лесных районах Свердловской области, приведены в таблице.

Таким образом, входными данными были определены длина захватки  $l$  (от 100 до 300 м), стоимость машино-смены  $C$  (от 10 400 до 12 000 руб.), стоимость материалов  $M$  (от 2450 до 3500 руб), расстояние доставки материалов  $L$  (от 11 до 38 км), численность парка машин  $N$  (от 34 до 83 ед.). Выходной переменной является стоимость дороги  $R_{ubl}$  (от 7198,55 до 17 217,76 тыс. руб.). В проектах марка или грузоподъемность машин принимается не варьируемой, т. к. парк техники на практике большей частью бывает однотипный. В данном случае во всех проектах грузоподъемность принималась равной 33 т.

### 2.3. Разработка нейронной сети

Интеллектуальную систему в данном случае строим в виде адаптивной нейронечеткой продукционной сети типа ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Ее преимущество перед простой нейронной сетью в том, что она обладает свойствами как продукционных нечетких систем, основанных на правилах, так и простых сетей. По этому признаку она относится к гибридным системам.

Для реализации модели использована среда `anfisedit` – один из `Toolbox` системы `MATLAB` [6]. Процесс создания сети ANFIS показан на рис. 1, а-е. Вначале создается файл формата `.dat` с исходными данными в виде матрицы (рис. 1, а) и загружается в систему (рис. 1, б). Затем определяется структура сети, основанной на правилах с нечетким выводом по методу Сугено (рис. 1, в), и выполняется корректировка лингвистических переменных для всех входных параметров (рис. 1, г). Запускается генерация сети, выводится ее структура (рис. 1, д) и созданная база правил (рис. 1, е).

После создания сети выполняется ее обучение (тренировка, как указано в меню интерфейса). В данном случае обучение обеспечило точность, если смотреть на примере первой выборки, до второго знака после запятой (рис. 2, а, б). Физически это определена стоимость дорожного покрытия с точностью до 100 руб. (см. рис. 2, б).

Таким образом, сеть настроена, и для оценки ее адекватности была выполнена проверка на тестовых примерах. Параметры тестовых примеров задавались в рабочей области `MATLAB` (рис. 2, в-д),



(на рис. 2, д результаты считываются из процедуры нечеткого вывода по базе правил). Так, для выборки  $l = 100$  м,  $L = 22$  км,  $N = 50$  ед.,  $C = 10\,400$  руб.,  $M = 3400$  руб,  $Rubl = 4551,8$  тыс. руб., получено по модели значение  $Rubl = 4551,1$  тыс. руб, что совпадает с исходным значением в обучающем примере. Задавая другие тестовые примеры (рис. 2, в, г),  $l = 250$  м,  $L = 15$  км,  $N = 34$  ед.,  $C = 10\,400$  руб.,  $M = 3400$  руб, получаем  $Rubl = 12\,712$  тыс. руб, а с исходными данными (рис. 2, г)  $l = 250$  м,  $L = 15$  км,  $N = 37$  ед.,  $C = 10\,400$  руб.,  $M = 3300$  руб., получаем  $Rubl = 13\,848$  тыс. руб. Для выборки (рис. 2, д)  $l = 200$  м,  $L = 13$  км,  $N = 71$  ед.,  $C = 11\,700$  руб.,  $M = 2820$  руб., получено по модели значение  $Rubl = 2230$  тыс. руб., что также согласуется результатами проектирования.

Результаты проверки по тестовым примерам, взятым также из реальных проектов устройства дорожных покрытий, показали расхождение не более 1 %, что говорит о достаточной адекватности интеллектуальной системы. Но такая точность обеспечивается в области значений, близких к значениям обучающей выборки. По мере большего

отклонения тестовых значений от обучающих погрешность увеличивается до 8-12 %.

Этот факт объясняется малым количеством обучающих примеров. В данном случае их оказалось несколько меньше необходимого. Но в практике решение этой проблемы не вызовет трудностей, т. е. потребуются только повторить обучение с большим количеством примеров.

Подытоживая, можно заключить следующее:

- при проектировании дорожных покрытий неопределенности данных встречаются в большинстве процедур, но учитываются они не вполне корректно, что приводит к недостаточно обоснованным решениям;

- предложенная интеллектуальная система в виде нейронечеткой сети для оценки технологических решений является достаточно адекватной, учитывает наиболее важные параметры, позволяет принимать оперативные решения без выполнения длительного процесса разработки проектов, поэтому может быть рекомендована для использования в практике дорожного строительства.

Таблица

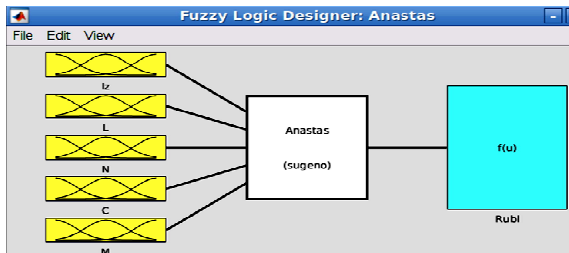
Исходные данные для обучения нейронной сети

№	Длина захватки $l$ , м	Расстояние доставки материалов $L$ , км	Число машин $N$ , ед.	Стоимость машины $C$ , руб.	Стоимость материалов $M$ , руб.	Стоимость конструкции дор. одежды $Rubl$ , тыс. руб.
1	100	22	50	10400	3400	4551,11
2	250	15	34	10400	3200	12 711,73
3	150	20	37	10400	3350	7198,55
4	300	20	73	10400	3350	17 217,76
5	200	11	83	12000	2450	10 257,79
6	250	38	73	12000	3500	12 938,31

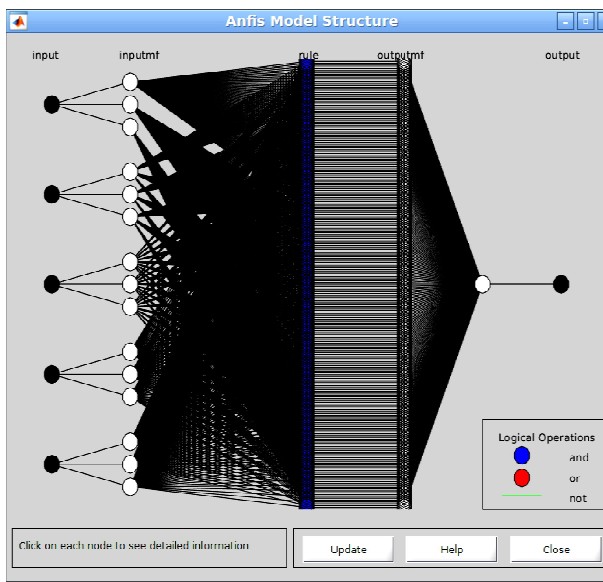
\*собственная разработка авторов

	1	2	3	4	5	6
1	100	22	50	10400	3400	4551,1184
2	250	15	34	10400	3200	12711,7320
3	150	20	37	10400	3350	7198,5578
4	300	20	73	10400	3350	17217,7692
5	200	11	83	12000	2450	10257,7904
6	250	38	73	12000	3500	12938,3110

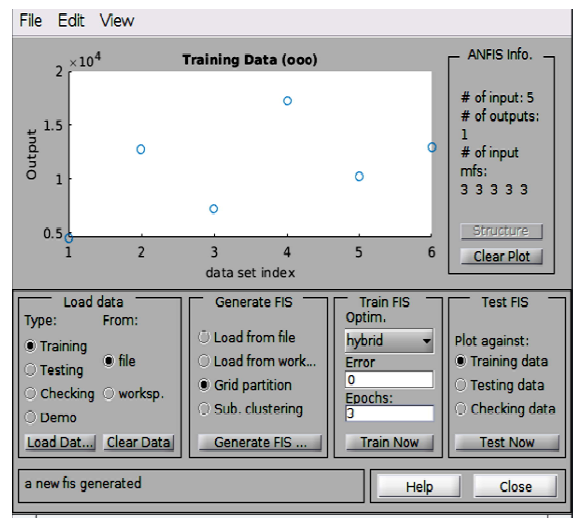
а)



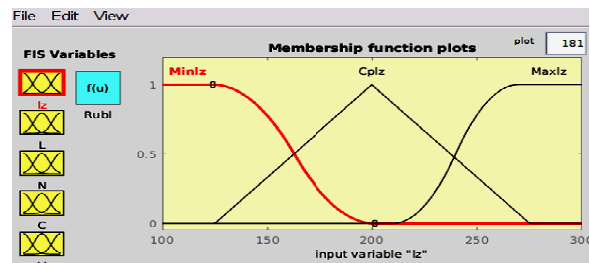
б)



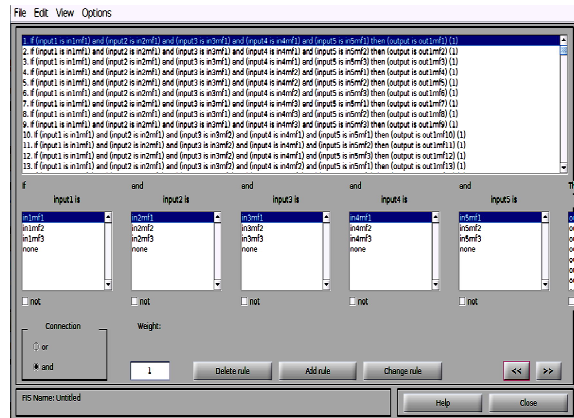
д)



б)



г)



е)

Рис. 1. Создание нейронечеткой сети ANFIS: а) создание файла с исходными данными; б) загрузка данных в систему; в) задание структуры сети и метода нечеткого вывода (Сугено); г) корректировка лингвистических переменных для всех входных параметров; д) генерация нейронной сети; е) генерация базы правил нечеткой продукции (собственная разработка авторов в среде MATLAB)

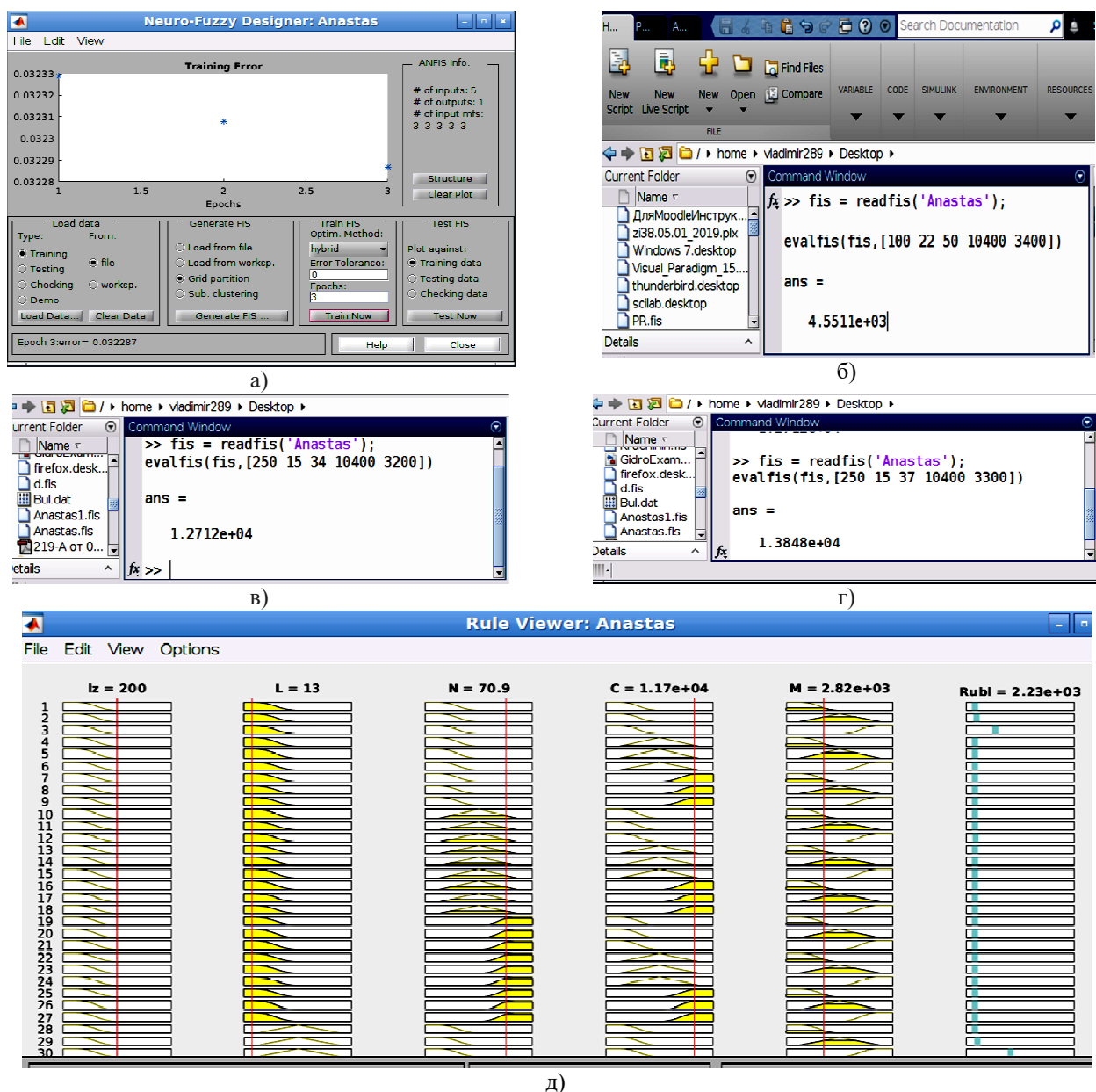


Рис. 2. Обучение нейронной сети и проверка на тестовых примерах: а) обучение (тренировка) сети и настройка под допустимое значение ошибки; б) тестовый контроль обученной сети с исходными выборками данных; в, г, д) проверка адекватности по тестовым примерам (собственная разработка авторов в среде MATLAB)

## Библиографический список

1. Алпайдин, Э. Машинное обучение: новый искусственный интеллект / Э. Алпайдин ; пер. с англ. – Москва : Издательская группа «Точка», 2017. – 208 с. – ISBN 978-5-9908700-8-6.
2. Булдаков, С. И. Последовательность выполнения проекта по строительству автомобильных дорог / С. И. Булдаков. – Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2017. – 177 с. – ISBN 978-5-94984-605-6.

3. Дайитбегов, Д. М. Компьютерные технологии анализа данных в эконометрике / Д. М. Дайитбегов. – Москва : ИНФРА-М, 2008. – 577 с. – ISBN 978-5-16-003380-8.
4. Джонс, М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Т. Джонс ; пер. с англ. А.И. Осипова. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-97060-579-0.
5. Kruchinin, I. N. Fuzzy simulation of forest road surface parameters / I. N. Kruchinin, V. V. Pobedinsky, R. N. Kovalev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). – 2019. – Vol. 326. – DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012026.
6. MATLAB Release Notes for R2008a // MathWorks. – URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/release-notes.Highlight> (date of access: 15.02.2019).
7. Piegat, A. Fuzzy Modeling and Control / A. Piegat. – Heidelberg, Physica-Verlag, 2001. – 760 p. – DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
8. Рашид, Т. Создаем нейронную сеть / Т. Рашид ; пер. с англ. – Санкт-Петербург: ООО «Диалектика», 2019. – 272 с. – ISBN 978-5-9909445-7-2.
9. Хултен, Дж. Разработка интеллектуальных систем / Дж. Хултен ; пер. с англ. В.С. Яценкова. – Москва : ДМК Пресс, 2019. – 284 с. – ISBN 978-5-97060-760-2.
10. Ясницкий, Л. Н. Нейронные сети – инструмент для получения новых знаний: успехи, проблемы, перспективы / Л. Н. Ясницкий // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2015. – № 5. – С. 48–56. – ISSN: 1999-8554.

### References

1. Alpaydin E. *Mashinnoe obuchenie: novyj iskusstvennyj intellekt* [Machine learning: a new artificial intelligence: translation from English]. Moscow, *Izdatel'skaja grupa «Tochka»* [Tochka Publishing Group], 2017, 208 p. (in Russian). ISBN 978-5-9908700-8-6.
2. Buldakov S.I. *Posledovatel'nost' vypolnenija proekta po stroitel'stvu avtomobil'nyh dorog* [The sequence of the project for the construction of roads]. *Ekaterinburg, Ural'skiy gosudartsvennyy lesotekhnicheskij universitet* [Ural State Forestry University], 2017, 177 p. (in Russian). ISBN 978-5-94984-605-6.
3. Dajitbegov D.M. *Komp'yuternye tekhnologii analiza dannykh v ekonometrike* [Computer technology of data analysis in econometrics]. Moscow, INFRA-M, 2008, 577 p. (in Russian). ISBN 978-5-16-003380-8.
4. Dzhons M.T. *Programmirovanie iskusstvennogo intellekta v prilozhenijah* [Programming artificial intelligence in applications: translation from English by A.I. Osipov], Moscow, DMK Press, 2018, 312 p. (in Russian). ISBN 978-5-97060-579-0.
5. Kruchinin I.N., Pobedinsky V.V., Kovalev R.N. *Nechetkoe modelirovanie parametrov pokrytij lesnykh dorog* [Fuzzy simulation of forest road surface parameters]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). 2019, Vol. 326. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012026.
6. MATLAB Release Notes for R2008a. *MathWorks*. URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/release-notes.Highlight> (date of access 15.02.2019).
7. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control. Heidelberg, Physica-Verlag, 2001, 760 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
8. Rashid T. *Sozdaem nejronnyuyu set: perevod s angl.* [Create a neural network: translated from English], Saint Petersburg, LLC "Dialectics", 2019. 272 p. (in Russian). ISBN 978-5-9909445-7-2.
9. Hulten Dzh. *Razrabotka intellektual'nyh sistem: per. s angl. V.S. Jacenkova* [Development of intelligent systems: translation from English by V.S. Yatsenkov], Moscow, DMK Press, 2019, 284 p. (in Russian). ISBN 978-5-97060-760-2.
10. Jasnicky L.N. (2015) *Nejronnye seti – instrument dlja poluchenija novyh znaniy: uspehi, problemy, perspektivy* [Neural networks – a tool for acquiring new knowledge: successes, problems, prospects]. *Nejrokom'jutery: razrabotka, primenenie* [Neurocomputers: development, application], No. 5, pp. 48-56. (in Russian). ISSN: 1999-8554.

### Сведения об авторах

*Побединский Владимир Викторович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: pobed@e1.ru; SPIN-код: 7968-3990, AuthorID: 648495. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>. ResearcherID: G-3245-2018.

*Булдаков Сергей Иванович* – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: buldakovski@m.usfeu.ru, AuthorID: 495921, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-5433-4696>.

*Берстнев Андрей Владимирович* – кандидат технических наук, ведущий инженер КБ «Новатор», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: berstnevandr@mail.ru, SPIN-код: 4484-1447, AuthorID: 648363. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-8986-2851>.

*Анастас Елена Сергеевна* – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: elenasergevna@bk.ru, AuthorID: 1074783, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0002-0250-9789>, ResearcherID: AAR-3399-2020.

### Information about authors

*Pobedinsky Vladimir Viktorovich* – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Intelligent Systems, FSBEI HE "Ural State Forest Engineering University", Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: pobed@e1.ru, SPIN: 7968-3990, AuthorID: 648495. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>. ResearcherID: G-3245-2018.

*Buldakov Sergey Ivanovich* – PhD (Engineering), Professor, Professor of the Department of Transport and Road Construction, FSBEI HE "Ural State Forestry Engineering University", Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: buldakovski@m.usfeu.ru, AuthorID: 495921, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-5433-4696>.

*Berstnev Andrey Vladimirovich* – PhD (Engineering), Leading Engineer, Novator Design Bureau, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: berstnevandr@mail.ru, SPIN code: 4484-1447, AuthorID: 648363, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-8986-2851>.

*Anastas Elena Sergeevna* – post-graduate student of the Department of Transport and Road Construction, FSBEI HE "Ural State Forestry Engineering University", Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: elenasergevna@bk.ru, AuthorID: 1074783, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0002-0250-9789>, ResearcherID: AAR-3399-2020.