

## Изучение теории нейронных сетей в учебном процессе студентов Белорусского государственного университета транспорта

**А.А. Ерофеев**

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ); г. Гомель, Республика Беларусь; erofeev\_aa@bsut.by

### АННОТАЦИЯ

Приведен опыт исследования ситуационно-эвристического метода планирования и нормирования в учебном процессе университета. Показаны основные этапы расчетов, выполняемых с помощью эвристических методов. Названы проблемы, с которыми сталкиваются студенты при изучении указанных методов. Предложено использование математического аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) для определения продолжительности выполнения технологических операций на железнодорожных станциях. Даны описания фрагментов программной реализации однослойной ИНС. Подобная задача может решаться и при установлении продолжительности выполнения других технологических операций: погрузка, выгрузка, обработка состава бригадами производственно-технических отделов и др.

Приведены рекомендации по применению теории нейронных сетей в учебном процессе студентов БелГУТ при выполнении лабораторных работ как путем построения нейронной сети, так и посредством ее обучения на основании обучающих выборок (в зависимости от специальности студента); курсовых проектов, в рамках которых могут дополнительно ставиться задачи определения продолжительности выполнения технологических операций для заданной эксплуатационной обстановки, а также в рамках дипломного проектирования. Могут ставиться задачи как выявления оптимальной величины выборки, гарантирующей заданный уровень точности установления значений продолжительности выполнения технологических операций, так и определения точности при заданной величине выборки.

**Ключевые слова:** технологические операции; методы прогнозирования; прогнозирование; нормирование; условия неопределенности; искусственная нейронная сеть; роспуск состава; сортировочная горка; автоматизированная система; продолжительность выполнения технологических операций

**Для цитирования:** Ерофеев А.А. Изучение теории нейронных сетей в учебном процессе студентов Белорусского государственного университета транспорта // Техник транспорта: образование и практика. 2024. Т. 5. Вып. 4. С. 397–403. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2024.4.397-403>.

Original article

### Study of the theory of neural networks in the educational process of students of the Belarusian State University of Transport

**Alexander A. Erofeev**

Belarusian State University of Transport (BelSUT); Gomel, Republic of Belarus; erofeev\_aa@bsut.by

### ABSTRACT

The article presents the experience of studying the situational-heuristic method of planning and standardization in the educational process of the university. The main stages of calculations performed using heuristic methods are shown. The problems that students encounter when studying the above methods are named. It is proposed to use the mathematical apparatus of artificial neural networks to determine the duration of technological operations at railway stations. Descriptions of fragments of the software implementation of a single-layer artificial neural network are given. A similar problem can be solved when determining the duration

of other technological operations: loading, unloading, processing of a train by teams of production and technical departments, etc.

Recommendations are given on the use of neural network theory in the educational process of BelSUT students when performing laboratory work both by constructing a neural network and by training it based on training samples (depending on the student's specialty); course projects, within the framework of which the tasks of determining the duration of technological operations for a given operational situation may be additionally set, as well as within the framework of diploma design. The tasks may be set of both determining the optimal sample size that guarantees a given level of accuracy in establishing the values of the duration of technological operations, and determining the accuracy for a given sample size.

**Keywords:** technological operations; forecasting methods; forecasting; standardization; uncertainty conditions; artificial neural network; train disbanding; marshalling yard; automated system; duration of technological operations

**For citation:** Erofeev A.A. Study of the theory of neural networks in the educational process of students of the Belarusian State University of Transport. *Transport technician: education and practice*. 2024;5(4):397-403. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2024.4.397-403>.

## ВВЕДЕНИЕ

В рамках дисциплины «Информационные технологии на железнодорожном транспорте» в настоящее время при обучении студентов БелГУТ по специальностям «Организация перевозок и управление на транспорте», «Эксплуатация железных дорог», «Грузовая и коммерческая работа» и другим рассматривается задача по определению продолжительности выполнения технологических операций (ПВТО).

### Теоретические основы постановки задачи

Для этого используются ситуационно-эвристические методы прогнозирования (СЭМП) и нормирования (СЭМН), автором которых является профессор Л.П. Тулупов [1]. Рассмотрим в общем виде постановку задачи определения ПВТО, предложенную Л.П. Тулуповым.

«В СЭМП предполагается, что стохастическая связь между ПВТО и каждым влияющим фактором достаточно точно описывается линейными моделями лишь в узких границах изменения факторов. Из этого предположения следует, что при установлении формы связи допустимо использование лишь тех опытных (статистических) данных, которые в определенном смысле реализованы в сходных эксплуатационных обстановках».

Считается заранее установленным, что значение ПВТО зависит от основных ( $\Phi_i$ ) и дополнительных ( $\Phi_v$ ) факторов, где  $i = 1, 2, \dots, I$ ;  $v = 1, 2, \dots, \theta$ . На начало расчета значения факторов известны и в совокупности составляют исходную эксплуатационную обстановку ( $\Phi_i^{z+1}, \Phi_v^{z+1}$ ).

Под прогнозом понимается определенное значение ПВТО в эксплуатационной обстановке, кото-

рая сложилась на плановый период  $\tilde{X}_1^{z+1}, \tilde{X}_2^{z+1}, \dots, \tilde{X}_I^{z+1}, \dots, \tilde{X}_I^{z+1}$ . Обозначим всю их совокупность через  $(\tilde{X}_I^{z+1})$ , причем величина  $\tilde{X}^{z+1} = \sum_i \tilde{X}_i^{z+1}$  имеет физический смысл, т.е. группа прогнозируемых показателей однородна.

Предусматривается три этапа расчетов: *подготовительный, оперативный и самообучение*.

На *подготовительном этапе* для каждой ПВТО устанавливаются перечень влияющих факторов  $\Phi_i$  и технология их определения. Количественные характеристики эксплуатационной обстановки и соответствующие им отчетные значения ПВТО составляют строку опыта. Строки опыта за  $z$  предплановых периодов образуют массив опыта  $Z$ .

На *оперативном этапе* нормативы  $\bar{X}_i$  используются для выбора из массива опыта наиболее близких к предплановым эксплуатационным обстановкам.

Этап *самообучения* позволяет корректировать рассчитываемые величины после получения отчетных данных. Расхождение возникает из-за неточностей в оперативном учете и диспетчерской информации.

### Опыт применения СЭМП и СЭМН

Как показал опыт выполнения лабораторных и практических работ по дисциплине «Информационные технологии на транспорте», определение ПВТО с использованием СЭМП имеет ряд существенных недостатков:

1. Значительная трудоемкость проведения расчетов не всегда позволяет осуществить работы в пределах установленных аудиторных часов.
2. При выполнении работы студент больше внимания уделяет расчетной части в ущерб логическому пониманию принципов установления за-

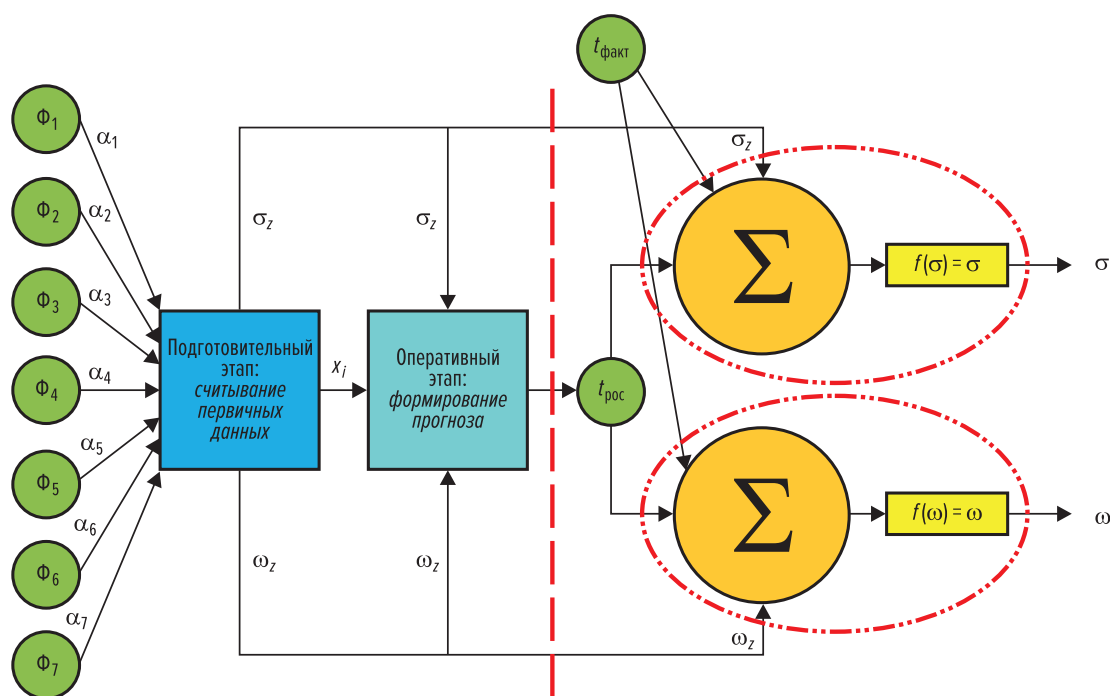


Рис. 1. Развернутая схема ИНС

висимости ПВТО от основных и дополнительных факторов.

3. Сложность математических расчетов зачастую приводит к ситуации, когда только небольшая часть группы может справиться с выполнением работы.

4. Сложность подготовки необходимого объема исходных данных для индивидуализации заданий лабораторных работ.

Эти и ряд других причин приводят к тому, что в дальнейшем эффективные математические методы СЭМП и СЭМН очень редко применяются в курсовых и дипломных проектах. Как следствие, полученные навыки прогнозирования и нормирования не используются в последующей практической деятельности специалистов.

Для компенсации указанных недостатков предлагается в учебном процессе применять актуальный математический аппарат — теорию искусственных нейронных сетей (ИНС).

Искусственная нейронная сеть — это математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей (НС) — сетей нервных клеток живого организма [2].

Данный подход позволяет решить сразу две важные задачи:

1. Освоить методы прогнозирования и нормирования в условиях неопределенности.
2. Изучить основы теории НС и примеры их использования на железнодорожном транспорте.

Для разработки архитектуры ИНС для определения ПВТО в учебных целях предлагается применять простейшую модель однослойной ИНС (рис. 1).

Ее «телом» является совокупность из  $N$  нейронов и последовательно расположенных сумматоров со встроенными блоками функций активации. Таким образом, при входном массиве данных  $x_1...x_n$  на выходе получаем искомый массив  $y_1...y_m$  с промежуточной корректировкой весовых параметров.

Рассмотрим постановку задачи определения продолжительности отпуска составов с сортировочной горки с использованием ИНС.

Предлагаемой архитектуре ИНС свойственны некоторые особенности:

- ИНС условно разделена на два сектора (показано красной линией на рис. 1): нейронные блоки характеризуют процесс самообучения системы, а два параллельно расположенных нейрона (выделены штрихпунктирными эллипсами) реализуют корректировку значений дополнительных факторов ( $\omega$ ,  $\sigma$ ) в зависимости от входных параметров сектора ( $t_{\text{рос}}$ ,  $t_{\text{факт}}$ ). При этом, если прогнозное время отпуска состава  $t_{\text{рос}}$  передается из левого сектора, то фактическое время отпуска  $t_{\text{факт}}$  поступает из действующих АСУС;
- в качестве функции активации (желтый блок) выбрана зависимость тождественного отображения вида  $f(x) = x$ . Свойства данной функции наиболее подходящие для проведения коррек-

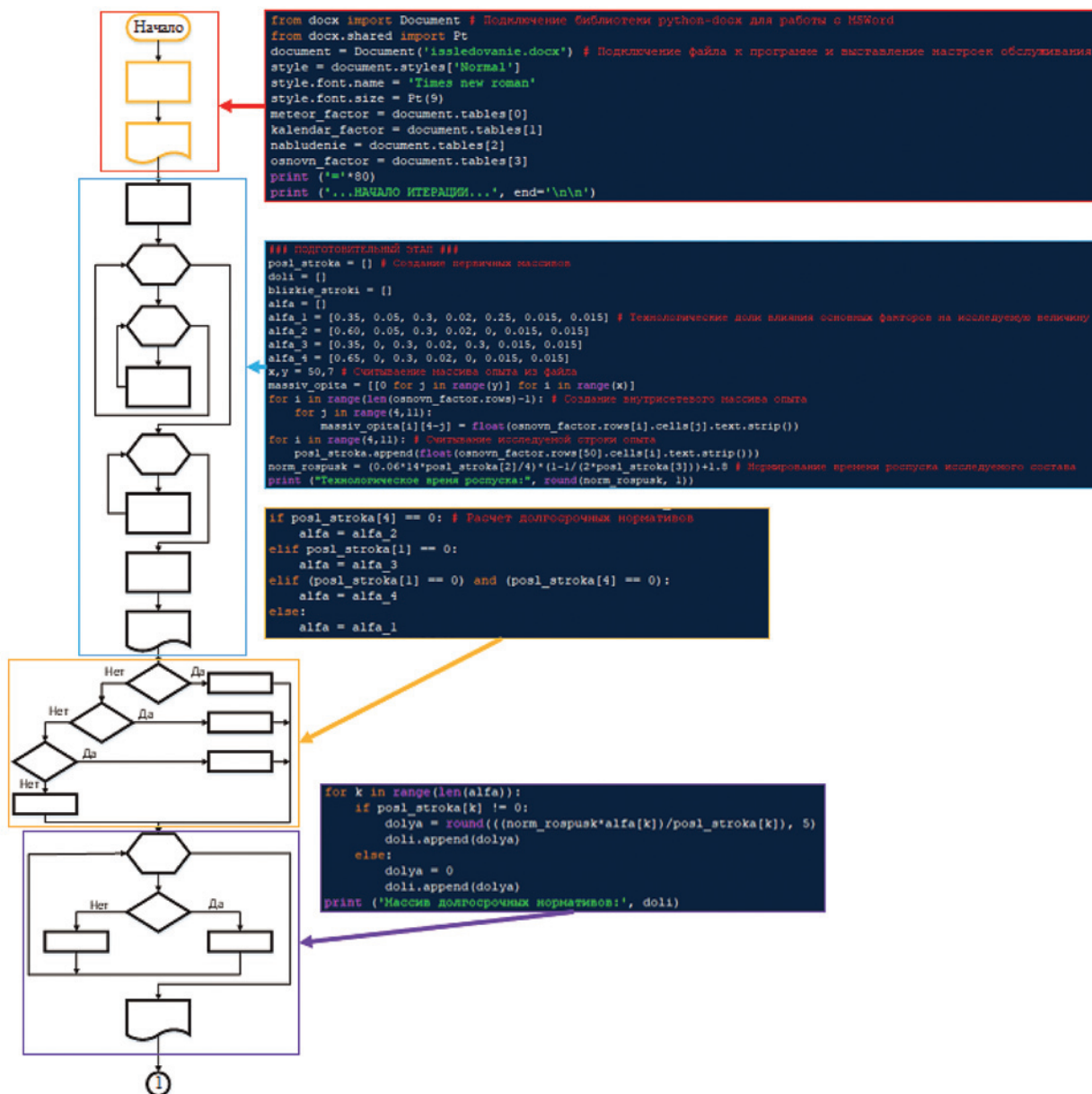


Рис. 2. Блок-схема подготовительного этапа программы

тировок исследуемых показателей. На момент проведения исследования альтернативной функции активации обнаружено не было, однако ее существование не исключено;

- в отличие от простейших моделей ИНС, сумматоры в разработанной схеме представляют собой многофункциональный блок, основной задачей которого является проведение требуемых расчетов для исправления и корректировки значений влияния дополнительных факторов.

Рассмотрим некоторые моменты программной реализации. Блок-схемы технологических этапов представлены на рис. 2–4.

Перед подготовительным этапом к программе подключаются необходимые для работы с интер-

фейсной платформой библиотеки. В нашем случае это библиотека Python-docx для работы с текстовыми документами расширения docx и doc. Происходит настройка параметров обработки данных в пользовательской среде и интеграция внешних носителей.

На подготовительном этапе создается цифровая копия массива опыта. Теперь нет необходимости обращаться к конкретной табличной ячейке на внешнем кластере, что значительно упрощает работу с данными.

На оперативном этапе все логические операции реализуются согласно методике, описанной выше.

Особое внимание стоит уделить «Стоп-блоку» («break»). В случае, если еще нет информации о фактическом времени отпуска состава, т.е. стро-



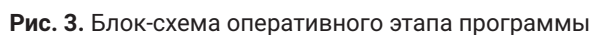




Рис. 4. Блок-схема этапа самообучения программы

ится только прогноз, «Стоп-блок» игнорирует этап самообучения и после корректировки прогнозного времени отпуска алгоритм прерывается. Когда фактическое время известно, разделитель подключает ИНС (последнюю часть кода) и происходит корректировка значений дополнительных факторов. На заключительном этапе реализуется дублирование таблиц наблюдений с их последующим обновлением и, согласно методике, происходит сдвиг массива опыта на  $z + 1$  значение. Далее итерация закончена, в массиве опыта снова  $z$  строк опыта, программа готова к следующей итерации.

Таким образом, на основании ИНС спроектирована полностью автоматизированная программная система считывания, анализа, обработки и вывода данных о составе составов с сортировочной горки.

Более подробно методика построения ИНС, ее использование при прогнозировании и полученные результаты приведены в работе [3].

Подобная задача может решаться и при определении продолжительности выполнения других технологических операций: погрузка, выгрузка, обработка состава бригадами ПТО и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном процессе задачу определения ПВТО с использованием теории НС можно решать следующим образом:

- при проведении лабораторных работ как путем построения нейронной сети, так и посредством ее обучения на основании обучающих

- выборка (в зависимости от специальности студента);
- при выполнении курсовых проектов, в рамках которых могут дополнительно ставиться задачи определения ПВТО для заданной эксплуатационной обстановки;
- в рамках дипломного проектирования. Могут ставиться задачи как определения оптимальной величины выборки, гарантирующей заданный уровень точности выявления значений ПВТО, так и установления точности при заданной величине выборки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тулупов Л.П., Жуковский Е.М., Гусятинер А.М. Автоматизированные системы управления перевозочными процессами на железнодорожном транспорте: учебное пособие для вузов. М.: Транспорт, 1991. 208 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. / пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
3. Ерофеев А.А., Чапский С.Ю. Прогнозирование продолжительности выполнения технологических операций в интеллектуальной системе управления перевозочным процессом // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2022. № 1 (44), С. 52–56.

## REFERENCES

1. Tulupov L.P., Zhukovsky E.M., Gussyatiner A.M. *Automated control systems for transportation processes in railway transport: a textbook for universities*. Moscow, Transport, 1991;208. (In Russ.).
2. Khaikin S. *Neural networks: a complete course*. 2nd ed. / translated from English. Moscow, Williams Publishing House, 2006;1104. (In Russ.).
3. Erofeev A.A., Chapsky S.Yu. Forecasting the duration of technological operations in an intelligent transportation process control system. *Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport*. 2022;1(44):52-56. (In Russ.).

### Об авторе

**Александр Александрович Ерофеев** — доктор технических наук; проректор по научной работе; **Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)**; 246653, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34; erofeev\_aa@bsut.by.

### Bionotes

**Alexander A. Erofeev** — Dr. Sci. (Techn.); Vice-Rector for Research; **Belarusian State University of Transport (BelSUT)**; 34 Kirov st., Gomel, 246653, Republic of Belarus; erofeev\_aa@bsut.by.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.08.2024; принята к публикации 28.10.2024.  
The article was submitted 01.08.2024; accepted for publication 28.10.2024.