

DOI: 10.47026/1810-1909-2020-3-132-140

УДК 621.316.91

ББК 31.247

И.А. ТАБАКОВ, А.Л. СЛАВУТСКИЙ, Л.А. СЛАВУТСКИЙ

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ
НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ
ПО МОМЕНТУ НАЧАЛА
И ПАРАМЕТРАМ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА**

***Ключевые слова:** нейросетевой анализ, элементарный перцептрон, определение места повреждения, переходные процессы, энергосистема, линия электропередач.*

Определение места повреждения в линиях электропередач и других элементах энергосистемы основано на анализе параметров переходных процессов или, для волнового метода, – на фиксации момента начала переходного процесса. Оба подхода требуют современных цифровых методов анализа и обработки сигналов. В представленной работе анализ сигналов для определения места повреждения проводится при помощи простейшей искусственной нейронной сети на основе элементарного перцептрона. Обучение и тестирование нейронной сети осуществляются на примере выборки сигналов (от 1000 до 5000 записей), полученных при моделировании короткого замыкания на линии электропередач. Сигналы, соответствующие переходному процессу при коротком замыкании, определяются двумя независимыми случайными величинами: моментом начала короткого замыкания (фазой напряжения и тока) и местом повреждения. При моделировании использовался качественный упрощенный подход: вместо разбиения линии электропередач на множество П-секций удельные сопротивление, индуктивность и емкость линии электропередач в одной секции считались переменными в зависимости от места короткого замыкания. На вход искусственной нейронной сети подавались отсчеты напряжения со стандартной для измерительных органов частотой дискретизации 600 Гц, а на выход, в качестве целевой функции, – момент начала или расстояние до места короткого замыкания. Проведен сравнительный анализ погрешностей обучения и тестирования искусственной нейронной сети для разных целевых функций на ее выходе. Обсуждается точность определения места повреждения и возможности использования предлагаемого нейроалгоритма.

Методы определения места повреждения (ОМП) в энергосистеме и, в частности, линиях электропередач (ЛЭП) интенсивно развиваются уже несколько десятилетий [1, 12, 22]. Решение соответствующих задач основано на анализе параметров аварийных режимов [2, 4, 7, 24] или, для волнового метода [16, 25], – на основе точного определения момента начала переходного процесса [5, 26]. Задача требует численного моделирования режимов, в том числе – с учетом нелинейности [3, 11, 15], и цифровой обработки сигналов в измерительных органах [18, 20]. Дополнительную сложность придает необходимость распознавания аварийных режимов на фоне коммутаций и т.д. [9, 10].

Волновой метод ОМП, требующий регистрации и точной оценки временного фронта переходного процесса [17, 25], основан на теории длинных линий [14, 25]. Двухстороннее дистанционное ОМП на магистральных ЛЭП дополнительно требует временной синхронизации измерительных органов [8]. Поскольку решение задачи ОМП чаще всего проводится в «отложенном времени», могут использоваться методы машинного обучения и искусственного интеллекта [6, 13, 19].

В настоящей работе производится качественное моделирование переходных процессов в линии электропередач для оценки возможности использования для ОМП элементарного перцептрона как простейшей искусственной нейронной сети (ИНС) [21]. То есть применяется ИНС прямого распространения с минимальным количеством нейронов [5, 23]. При этом проводится сравнительный анализ точности ОМП по параметрам аварийного режима и по фиксации момента начала переходного процесса.

Качественное моделирование аварийного режима. В качестве простого примера аварийного режима анализировалось короткое замыкание (КЗ) на высоковольтной линии электропередач (ВЛ) длиной 30 км номинального напряжения 110 кВ между двумя подстанциями (ПС1 и ПС2, рис. 1, *a*).

На рис. 1 показана эквивалентная схема П-секции для моделирования переходных процессов в ЛЭП. Использовался качественный упрощенный подход: вместо разбиения ЛЭП на множество таких секций удельные сопротивление, индуктивность и емкость ЛЭП в одной секции считались переменными в зависимости от места короткого замыкания (КЗ) с переходным сопротивлением R_f . В момент начала переходного процесса происходит скачкообразное изменение параметров четырехполюсника (рис. 1), и решения соответствующих дифференциальных уравнений «сшиваются».

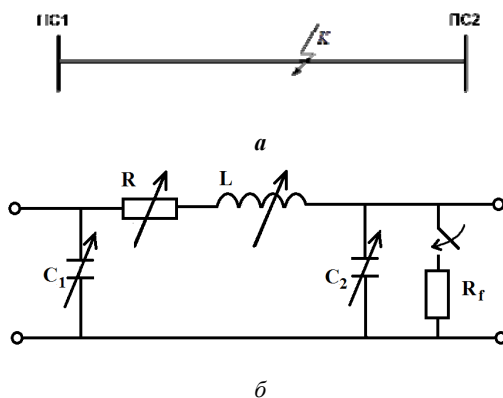


Рис. 1. Схематическое изображение места замыкания на исследуемой ВЛ (*a*) и схема П-секции для моделирования (*б*)

Таким образом, параметры переходного процесса определяются двумя случайными величинами – моментом возникновения КЗ t_a (фазой напряжения и тока) и местом замыкания, которым определяются параметры схемы рис. 1. Параметры схемы рассчитывались через удельные индуктивность, емкость и сопротивление ЛЭП.

Такая предельно упрощенная модель не учитывает особенности переходного процесса в трехфазной сети, не отражает сложный гармонический состав сигналов токов и напряжений при переходном процессе и т.д. Однако она позволила достаточно простыми вычислительными средствами моделировать с высокой частотой дискретизации до 5000 записей, каждая из которых определяется двумя обозначенными независимыми случайными величинами.

нами. Это, в свою очередь, дает возможность адекватно обучить, протестировать ИНС и провести сравнительный анализ особенностей нейросетевого ОМП по временному фронту и параметрам переходного процесса.

На рис. 2 приведены примеры результатов моделирования КЗ в разные моменты времени и в разных местах ЛЭП.

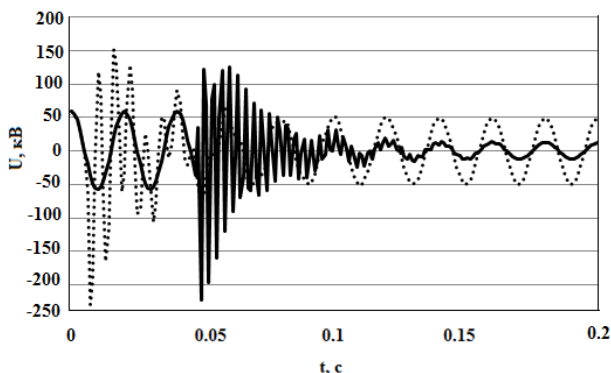


Рис. 2. Примеры результатов моделирования напряжения при КЗ в разные моменты времени на разном расстоянии

Как видно из рис. 2, полученные результаты моделирования в целом отражают основные особенности переходного процесса: изменение амплитуды и фазы напряжения промышленной частоты и возникновение высокочастотных колебаний, частота, амплитуда, фаза и затухание которых зависят от места КЗ и фазы токов и напряжений промышленной частоты в момент возникновения КЗ.

При стандартной частоте оцифровки сигнала 600 Гц осциллограмма напряжения в момент начала переходного процесса имеет вид, пример которого показан на рис. 3. Для обучения ИНС при волновом методе ОМП моделирование проводилось с частотой дискретизации до 64 000 точек на период промышленной частоты, что по расстоянию соответствует месту КЗ с точностью менее сотен метров.

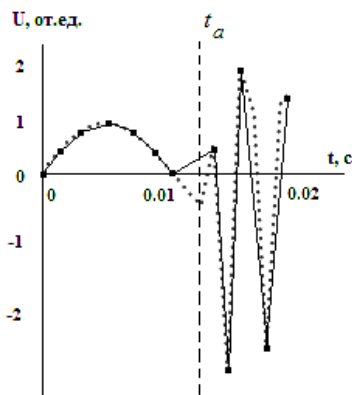


Рис. 3. Пример записи сигнала напряжения для обучения ИНС

Нейросетевой анализ. Соответствующие стандартной дискретизации 600 Гц 12 отсчетов напряжения в моменты времени t_i на интервале в один период промышленной частоты подавались на вход ИНС, структура которой показана на рис. 4. Обучение ИНС проводилось на выборке от нескольких сотен до нескольких тысяч таких записей при случайно заданном месте и начальной фазе КЗ. Обе эти величины имеют равномерное случайное распределение в соответствующем интервале по времени и расстоянию. Необходимо отметить, что частота дискретизации 600 Гц не позволяет зафиксировать с приемлемой точностью начало переходного процесса и частоту высокочастотных колебаний, которая может достигать десятков кГц [5]. Поэтому в качестве целевых значений на выходе ИНС, соответствующих каждому набору из 12 отсчетов на ее входе, ставились в соответствие результаты моделирования с обозначенной выше высокой частотой дискретизации в несколько МГц. Проанализированы качество обучения и тестирования ИНС в тех случаях, когда целевой функцией на ее выходе является момент начала переходного процесса или место повреждения.

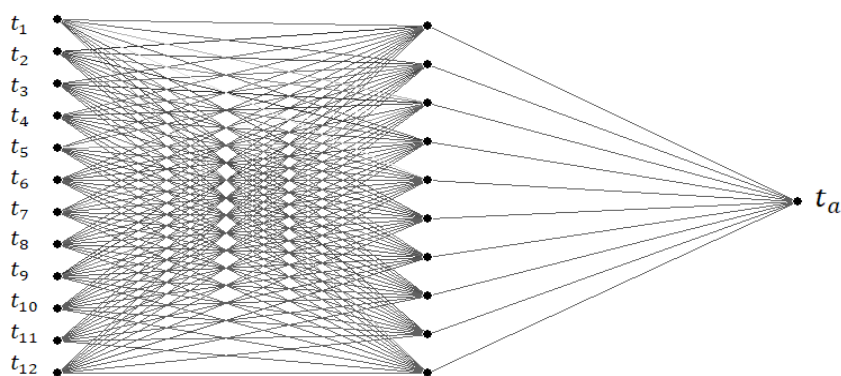


Рис. 4. Схема однослойного перцептрона

На рис. 5 приведены гистограммы распределения ошибок при обучении перцептрона (рис. 4) как простейшей ИНС прямого распространения с обратным распространением ошибки.

Приведенные гистограммы соответствуют трем случаям при выборке 5000 записей и тестовой выборке 5%:

а) обучение ИНС по расстоянию до места повреждения с дискретизацией 10 м (максимальные относительные ошибки по обучающему и тестовому множеству 0,013 и 0,0047);

б) обучение ИНС по моменту начала переходного процесса с частотой оцифровки 12800 точек на период промышленной частоты (максимальные относительные ошибки по обучающему и тестовому множеству 0,048 и 0,014);

в) обучение ИНС по моменту начала переходного процесса, когда он задается наложением широкополосного шума со спектром до 15 кГц (максимальные относительные ошибки по обучающему и тестовому множеству 0,042 и 0,067) [5].

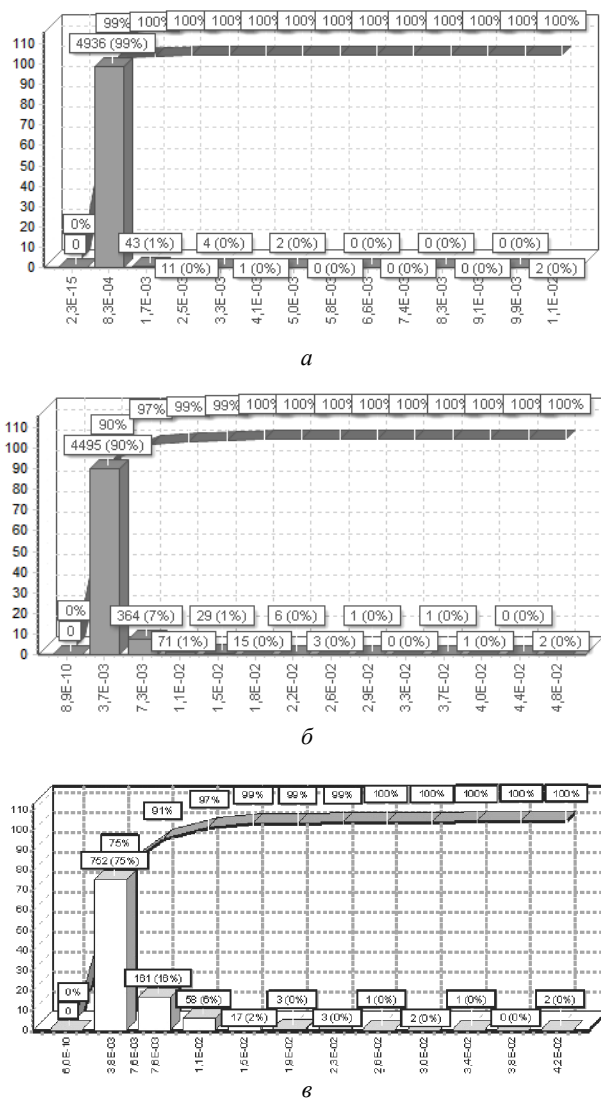


Рис. 5. Гистограммы распределения среднеквадратичной ошибки.
Сплошная кривая – сумма с накоплением

Для всех приведённых гистограмм ошибки обучения ИНС не превышают нескольких процентов, однако их статистическое распределение существенно отличается. Как видно из рис. 5, при ОМП по параметрам переходного процесса (по расстоянию) для 99% выборки ошибка не превышает 0,1%. Сравнительный анализ гистограмм при одинаковых условиях обучения и структуре нейросети позволяет оценить не только возможности предлагаемого нейросетевого алгоритма, но и некоторые особенности использования ИНС для ОМП:

1. Предлагаемый нейросетевой алгоритм с более высокой точностью распознает место КЗ в том случае, когда возникающие высокочастотные ко-

лебания имеют достаточно узкий спектр. В этом случае ОМП целесообразно, по-видимому, проводить по параметрам переходного процесса.

2. Начальная фаза напряжения, соответствующая началу переходного процесса, оказывает очень существенное влияние не только на форму осциллограмм, но и в значительной степени на точность нейросетевого алгоритма для ОМП. Это подтверждается тем, что для обеих целевых функций на выходе ИНС максимальные ошибки для тестового множества оказываются меньше, чем для обучающего множества. Для средних по множествам ошибок этого не наблюдается. Средние ошибки во всех случаях оказывались традиционно ниже для обучающего множества. То есть при определенных значениях начальной фазы переходного процесса возникают аномальные сигналы, влияющие на точность их распознавания при помощи ИНС. Соответствующие примеры могут не попадать в случайно выбираемое тестовое множество.

Заключение. Результаты обучения и тестирования ИНС показали, что момент начала переходного процесса может быть определен на интервале времени, на порядки меньшем периода дискретизации сигнала в измерительных органах. При адекватном моделировании аварийных режимов, обучении и тестировании ИНС ОМП может проводиться с точностью до десятков метров. Предлагаемый алгоритм на основе простейшей ИНС может в «отложенном времени» использоваться комбинированно на основе волнового и традиционного (по параметрам аварийного режима) методов. Возможно его использование для контроля и проверки вместе с другими методами определения места повреждения в энергосистеме.

Литература

1. Аржанников Е.А., Лукоянов В.Ю., Мисриханов М.Ш. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / под ред. В.А. Шуина. М.: Энергоатомиздат. 2003. 272 с.
2. Арцишевский Я.Л., Жамсран А. Метод повышения точности определения мест повреждения элементов электрической сети путем уточнения ее параметров // Вестник Московского энергетического института. 2007. № 1. С. 64–71.
3. Законьшек Я., Славутский А.Л. Цифровое моделирование современных энергосистем в реальном времени // Релейная защита и автоматизация. 2012. № 1. С. 66–72.
4. Козлов В.Н., Бычков Ю.В., Ермаков К.И. О точности современных устройств ОМП // Релейная защита и автоматизация. 2016. № 1. С. 42–46.
5. Коцеев М.И., Славутский А.Л., Славутский Л.А. Простые нейросетевые алгоритмы для волнового метода определения места повреждения электросети // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 110–118.
6. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 382 с.
7. Куликов А.Л., Петрухин А.А., Кудрявцев Д.М. Диагностический комплекс по исследованию линий электропередач // Известия вузов. Проблемы энергетика. 2007. № 7-8. С. 17–22.
8. Лачугин В.Ф., Панфилов Д.И., Смирнов А.Н. Реализация волнового метода определения места повреждения на линиях электропередачи с использованием статистических методов анализа данных // Известия РАН. Энергетик. 2013. № 6. С. 137–146.
9. Лямец Ю.Я., Белянин А.А., Воронов П.И. Анализ переходных процессов в длинной линии в базисе дискретного и непрерывного времени // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 4. С. 11–16.

10. Лямец Ю.Я., Худельман Г.С., Павлов А.О., Ефимов Е.Б., Законьшек Я. Распознаваемость поврежденных электропередачи. Ч. 1, 2, 3 // Электричество. 2001. № 2. С. 16–23; № 3. С. 16–24; № 12. С. 9–22.
11. Славутский А.Л. Применение алгоритма Доммеля для моделирования цепи с полупроводниковыми элементами и ключами с ШИМ управлением // Вестник Чувашского университета. 2014. № 2. С. 57–65.
12. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.
13. Bhattacharya B., Sinha A. Intelligent Fault Analysis in Electrical Power Grids. IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). Boston, IEEE, 2017, pp. 985–990. DOI: 10.1109/ICTAI.2017.00151.
14. Bewley L.V. Travelling waves on transmission systems. New York, John Wiley and Sons, 1933, 333 p.
15. Dommel H.W. Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single- and Multiphase Networks. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1969, vol. Pas-88, no. 4, pp. 388–399.
16. Elhaffar A.M. Power Transmission Line Fault Location Based on Current Travelling Waves, Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology, Helsinki, 2008.
17. Kasztenny B., Guzman A., Mangapathirao V.M., Titiksha J. Locating Faults Before the Breaker Opens - Adaptive Autoreclosing Based on the Location of the Fault. 44th Annual Western Protective Relay Conference, 2017, pp. 1–15.
18. Lachugin V.F., Panfilov D.I., Smirnov A.N., Obratsov S.A., Ryvkin A.A., Shimina A.O. A Multifunctional Device for Recording the Monitoring of Electric Power Quality and for Fault Finding on Electric Transmission Lines. *Power technology and engineering*, 2014, vol. 47, no. 5, pp. 386–392.
19. Laruhin A., Nikandrov M., Slavutskii L. Anomalous modes recognizing secondary equipment in electric power industry: adaptive neuro algorithms. In: 2019 International Ural conference on electrical power engineering, Proceedings URALCON 2019, pp. 399–403.
20. Malathi V., Marimuthu N.S. Wavelet Transform and Support Vector Machine Approach for Fault Location in Power Transmission Line. World Academy of Science, Engineering and Technology, 39, 2010.
21. Rosenblatt F. Principles of neurodynamics. Washington, D.C., Spartan books, 1962.
22. Saha M.M., Izykowski J., Rosolowski E. Fault Location in Power Networks. 1st ed. New York, Springer-Verlag, 2010.
23. Slavutskaya E.V., Abrukov V.S., Slavutskii L.A. Simple neuro network algorithms for evaluating latent links of younger adolescent's psychological characteristics. *Experimental Psychology*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 131–142.
24. Swagata Das, Surya Santoso, Anish Gaikwad, Mahendra Patel Impedance-Based Fault Location in Transmission Networks: Theory and Application. IEEE Access, vol. 2, New York, 2009.
25. Thomas D.W.P., Carvalho R.J.O., Pereira E.T. Fault Location in Distribution Systems Based on Traveling Waves. IEEE Bologna PowerTech Conference. Bologna, Italy, 2003.
26. Wang J., Liu X., Pan Z. A New Fault Location Method for Distribution Network Based on Traveling Wave Theory. *Advanced Materials Research*, 2015, vols. 1070–1072, pp. 718–725.

ТАБАКОВ ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ – студент IV курса факультета радиозлектроники и автоматики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (tabakov98@mail.ru).

СЛАВУТСКИЙ АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ – кандидат технических наук, заместитель начальника отдела разработки программных продуктов, Обособленное подразделение ООО «Юнител Инжиниринг» в г. Чебоксары, Россия, Чебоксары (slavutskii@gmail.com).

СЛАВУТСКИЙ ЛЕОНИД АНАТОЛЬЕВИЧ – доктор физико-математических наук, профессор кафедры автоматики и управления в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (lenya@slavutskii.ru).

Igor A. TABAKOV, Alexandr L. SLAVUTSKIY, Leonid A. SLAVUTSKII

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK ALGORITHM ACCURACY
IN FAULT LOCALIZATION BY THE ONSET MOMENT
AND TRANSITION PROCESS PARAMETERS

Key words: neural network analysis, elementary perceptron, fault localization, transient processes, power system, power transmission line.

Fault localization in power lines and other elements of the power system is based on the analysis of transient processes parameters or, for the wave method, on fixation of the transition process onset. Both approaches require modern digital methods of signals analysis and processing. In this paper, the analysis of signals for fault localization is carried out using the simplest artificial neural network based on an elementary perceptron. Training and testing of the neural network are carried out on the example of a sample of signals (1000 to 5000 records) obtained during simulating a short circuit on a power line. Signals that correspond to the short-circuit transition process are determined by two independent random variables: the onset moment of the short circuit (voltage and current phase), and the place of fault. The simulation used a qualitative simplified approach: instead of splitting the power line into many P-sections, resistivity, inductance and power line capacity in one section were considered variable depending on the fault location. The input of the artificial neural network was supplied with voltage counts with a sample rate of 600 Hz standard for measuring organs, and the output, as a target function, was the onset moment or distance to the short circuit site. Comparative analysis of errors in training and testing the artificial neural network for different target functions at its output is carried out. The accuracy of fault localization and the possibility of using the proposed neuroalgorithm are discussed.

References

1. Arzhannikov E.A., Lukoyanov V.Yu., Misrikhanov M.Sh. Redacted by V.A. Shuina *Opređenje mesta korotkogo zamykaniya na vysokovol'tnykh liniyakh elektroperedachi* [Detection of short circuit location on high-voltage power lines]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2003, 272 p.
2. Artsishevskii Ya.L., Arslan Zhamrsan *Metod povysheniya tochnosti opredeleniya mest povrezhdeniya elementov elektricheskoi seti putem utochneniya ee parametrov* [The method of improving the accuracy of determining the locations of damage to the electrical network elements by clarifying its parameters]. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta*, 2007, no. 1, pp. 64–71.
3. Zakon'shek Ya., Slavutskii A.L. *Tsifrovoe modelirovanie sovremennykh energosistem v real'nom vremeni* [Digital simulation of real-time power systems]. *Releynaya zashchita i avtomatizatsiya*, 2012, no. 1, pp. 66–72.
4. Kozlov V.N., Bychkov Yu.V., Ermakov K.I. *O tochnosti sovremennykh ustroystv OMP* [About accuracy of modern devices for network damage location]. *Releynaya zashchita i avtomatizatsiya*, 2016, no. 1, pp. 42–46.
5. Koshcheev M.I., Slavutskiy A.L., Slavutskii L.A. *Prostyie neyrosetevyye algoritmy dlya volnovogo metoda opredeleniya mesta povrezhdeniya elektroseti* [Simple neural network algorithms for the wave method of fault location in power networks]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2019, no. 3, pp. 110–118.
6. Kruglov V.V., Borisov V.V. *Iskusstvennye neironnye seti. Teoriya i praktika* [Neural networks. Theory and practice]. Moscow, Goryachaya liniya Telekom Publ., 2001, 382 p.
7. Kulikov A.L., Petrukhin A.A., Kudryavtsev D.M. *Diagnosticheskii kompleks po issledovaniyu linii elektroperedach* [Diagnostic complex for the study of power lines]. *Izvestiya vuzov. Problemy energetiki*, 2007, no. 7–8, pp. 17–22.
8. Lachugin V.F., Panfilov D.I., Smirnov A.N. *Realizatsiya volnovogo metoda opredeleniya mesta povrezhdeniya na liniyakh elektroperedachi s ispol'zovaniem statisticheskikh metodov analiza dannykh* [Implementation of the wave method of determining the location of damage on power lines using statistical data analysis methods]. *Izvestiya RAN. Energetik*, 2013, no. 6, pp. 137–146.
9. Lyamets Yu.Ya., Belyanin A.A., Voronov P.I. *Analiz perekhodnykh protsessov v dlinnoi linii v baze diskretnogo i nepreryvnogo vremeni* [Analysis of transients in a long line in the basis of discrete and continuous time]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika*, 2012, no. 4, pp. 11–16.

10. Lyamets Yu.Ya., Nudel'man. G.S., Pavlov A.O., Efimov E.B., Zakon'shek Ya. *Raspoznavaemost' povrezhdenii elektroperedachi. Ch. 1, 2, 3* [Detectability of power transmission damage. Parts 1–3]. *Elektrichestvo* [Electricity], 2001, no. 2, pp. 16–23; no. 3, pp. 16–24; no. 12, pp. 9–22.
11. Slavutskiy A.L. *Primeneniye algoritma Dommel'ya dlya modelirovaniya tsepi s poluprovodnikovymi elementami i klyuchami s SHIM upravleniyem* [Application of dommel algorithm for simulation of semiconductor circuits with pwm control switches]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2014, no. 2, pp. 57–65.
12. Shalyt G.M. *Opreделение mest povrezhdeniya v elektricheskikh setyakh* [Determination of places of damage in electrical networks]. Moscow, Energoizdat Publ., 1982, 312 p.
13. Bhattacharya B., Sinha A. *Intelligent Fault Analysis in Electrical Power Grids*. IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). Boston, IEEE, 2017, pp. 985–990. DOI: 10.1109/ICTAI.2017.00151.
14. Bewley L.V. *Travelling waves on transmission systems*. New York, John Wiley and Sons, 1933, 333 p.
15. Dommel H.W. *Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single- and Multiphase Networks*. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1969, vol. Pas-88, no. 4, pp. 388–399.
16. Elhaffar A.M. *Power Transmission Line Fault Location Based on Current Travelling Waves*, Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology, Helsinki, 2008.
17. Kasztenny B., Guzman A., Mangapathirao V.M., Titiksha J. *Locating Faults Before the Breaker Opens -Adaptive Autoreclosing Based on the Location of the Fault*. 44th Annual Western Protective Relay Conference, 2017, pp. 1–15.
18. Lachugin V.F., Panfilov D.I., Smirnov A.N., Obratsov S.A., Ryzkin A.A., Shimina A.O. *A Multifunctional Device for Recording the Monitoring of Electric Power Quality and for Fault Finding on Electric Transmission Lines*. *Power technology and engineering*, 2014, vol. 47, no. 5, pp. 386–392.
19. Laruhin A., Nikandrov M., Slavutskii L. *Anomalous modes recognizing secondary equipment in electric power industry: adaptive neuro algorithms*. In: 2019 International Ural conference on electrical power engineering, Proceedings URALCON 2019, pp. 399–403.
20. Malathi V., Marimuthu N.S. *Wavelet Transform and Support Vector Machine Approach for Fault Location in Power Transmission Line*. World Academy of Science, Engineering and Technology, 39, 2010.
21. Rosenblatt F. *Principles of neurodynamics*. Washington, D.C., Spartan books, 1962.
22. Saha M.M., Izykowski J., Rosolowski E. *Fault Location in Power Networks*. 1st ed. New York, Springer-Verlag, 2010.
23. Slavutskaya E.V., Abrukov V.S., Slavutskii L.A. *Simple neuro network algorithms for evaluating latent links of younger adolescent's psychological characteristics*. *Experimental Psychology*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 131–142.
24. Swagata Das, Surya Santoso, Anish Gaikwad, Mahendra Patel. *Impedance-Based Fault Location in Transmission Networks: Theory and Application*. IEEE Access, vol. 2, New York, 2009.
25. Thomas D.W.P., Carvalho R.J.O., Pereira E.T. *Fault Location in Distribution Systems Based on Traveling Waves*. IEEE Bologna PowerTech Conference. Bologna, Italy, 2003.
26. Wang J., Liu X., Pan Z. *A New Fault Location Method for Distribution Network Based on Traveling Wave Theory*. *Advanced Materials Research*, 2015, vols. 1070–1072, pp. 718–725.

IGOR A. TABAKOV – Student, Faculty of Radioelectronics and Automatics, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (tabakov98@mail.ru).

ALEXANDR L. SLAVUTSKIY – Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of Software Products Development, a Separate division of LLC "Unitel Engineering" in Cheboksary, Russia, Cheboksary (slavutskii@gmail.com).

LEONID A. SLAVUTSKII – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Automation and Control in Technical Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (lenya@slavutskii.ru).

Формат цитирования: Табаков И.А., Славутский А.Л., Славутский Л.А. Сравнительный анализ точности нейросетевого алгоритма при определении места повреждения по моменту начала и параметрам переходного процесса // Вестник Чувашского университета. – 2020. – № 3. – С. 132–140. DOI: 10.47026/1810-1909-2020-3-132-140.