

Прогнозирование аварийных ситуаций в контуре химводоочистки в рамках системы принятия решений на основе композиционной модели

С.А. Ткалич

Воронежский государственный технический университет

Аннотация: Рассматривается задача построения системы принятия решений в рамках автоматизированных систем безаварийного управления технологическими процессами на основе моделей прогнозирования. Целью работы является разработка композиционной модели для прогнозирования аварийных ситуаций технологического процесса химводоочистки. Модель прогнозирования представляет собой композицию термодинамической, лингвистической и нейросетевой компонент. Рассмотрен пример композиционной модели прогнозирования аварийных ситуаций технологического процесса химводоочистки. Приведены вычислительные экспериментальные исследования модели. Сделан вывод о том, что компоненты модели прогнозирования дополняют друг друга, и объективная оценка состояния процесса химводоочистки должна проводиться на основании прогноза всех трех моделей.

Ключевые слова: прогнозирование, аварийная ситуация, технологический процесс, безаварийное управление, система принятия решений, автоматизированная система, композиционная модель, интегральный критерий, химводоочистка, вычислительный эксперимент, режим реального времени, динамическое построение графиков.

Введение

Водоподготовка на АЭС проводится в установках химической водоочистки (далее ХВО). Водоподготовительная установка АЭС предназначена для глубокого обессоливания воды. Химически обессоленная вода используется при заполнении первых и вторых контуров после остановок, для компенсации потерь теплоносителя второго контура, регенерации и промывки систем очистки, для приготовления растворов реагентов, а также для технологических циклов вспомогательных систем АЭС. Основные контролируемые параметры технологического процесса ХВО представлены в таблице № 1.

Отклонения контролируемых параметров от номинальных значений указывают на нарушение технологического процесса. Следовательно, главным является принцип построения системы принятия решений (далее СПР) на основе прогнозирования динамики критических параметров с целью предотвращения нарушений в ходе технологического процесса [1, 2].

Таблица № 1

Контролируемые параметры ХВО

№ п/п	Показатели	Значение
1	Удельная электрическая проводимость, не более	1.2 мкС/см
2	Величина рН, ед. рН	5.6-8.0
3	Концентрация кремниевой кислоты, не более	20 мкг/дм ³

Построение системы принятия решений

Функциональная схема системы принятия решений (далее СПР) представлен на рис. 1.



Рис. 1. – Функциональная схема системы принятия решений

Функциональная схема состоит из следующих блоков:

- СПАС – система прогнозирования аварийных ситуаций;
- ИК6/аУ – интегральный критерий безаварийного управления;
- СППО - система планово-предупредительного обслуживания;
- ЛПР – лицо, принимающее решение;
- АСУТП – автоматизированная система управления технологическим

процессом.

СПР построена на основе автоматизированной системы управления [3, 4] и интегрального критерия безаварийного управления [5], учитывающего запасы времени на приведение процесса в нормальное состояние (система

прогнозирования аварийных ситуаций) и ресурсную составляющую (система планово-предупредительного обслуживания) [6].

Композиционная модель прогнозирования аварийных ситуаций

Рассмотрим композиционную модель прогнозирования аварийных ситуаций (далее КМПАС) [5]. Блок-схема КМПАС представлена на рис. 2. Прогноз подразделяется на долгосрочный и текущий. Долгосрочный прогноз основан на применении термодинамической модели [7, 8], а текущий – на моделях лингвистической и нейросетевой [5]. КМПАС выполняет функции системы прогнозирования аварийных ситуаций.



Рис. 2. - Блок - схема композиционной модели прогнозирования

Выходными показателями КМПАС являются:

- для термодинамической модели - показатель персистентности H (показатель Херста) в диапазоне от 0 до 1;

- для лингвистической модели - мера близости к аварийной ситуации L в диапазоне от 0 до 1;
- для нейросетевой модели - функция степени близости к аварии N в диапазоне от 0 до 1.

Композиционная модель осуществляет мониторинг состояния технологического процесса, анализируя критические параметры, и формирует аварийные сообщения.

Выявление критического параметра, определяющего движение процесса к аварийной ситуации, возможно, например, формальным путём в реальном масштабе времени методом регрессионного анализа или на основе теории чувствительности для функции состояния процесса.

Отметим также, что существенным является наделение композиционной модели прогнозирования не только функцией мониторинга, а также и функцией управления. Следовательно, модель прогнозирования аварийных ситуаций необходима для выявления критического параметра и определения времени запаса $t_{\text{запаса}}$, имеющегося в распоряжении системы управления на возвращение критического параметра в рамки допустимых пределов, используя методику и алгоритм расчета интегрального критерия безаварийного управления.

Инструментарий для прогнозирования аварийных ситуаций технологического процесса ХВО

Для проведения вычислительных экспериментов была разработана программа, совмещающая в среде программирования C++ инструменты математического моделирования, реализованные в программном пакете MATLAB [9].

Для реализации интерфейса пользователя и построения графиков, отображающих результаты вычислений MATLAB, выбраны визуальная среда

программирования MICROSOFT VISUAL STUDIO, поддерживающая интеграцию компонентов MATLAB, и язык C++ - высокоуровневый компилируемый язык программирования общего назначения со статической типизацией, который подходит для создания различных приложений [10 - 12].

Цикличность процессов обеспечивается не использованием стандартных циклов, предоставляемых средствами языка C++, а системным таймером. Это позволяет генерировать данные и выводить их на экран в режиме реального времени, что и требуется от программы мониторинга состояния процесса [13].

Кроме того, визуальная оболочка, содержащая в своем составе таймер, является дополнительным инструментом управления, поскольку, уменьшая время повторных обращений к программному пакету MATLAB, можно добиться большего количества итераций моделей прогнозирования, но отталкиваясь при этом необходимо от времени выполнения самой длительной из них. В данном случае был взят интервал в 5 секунд, так как самая длительная обработка данных у нейросетевой модели прогнозирования, которая составляет $3.7 \pm 10\%$ секунды.

С учетом того, что мы используем термин «генерация», можно судить о том, что все данные и результаты работы моделей прогнозирования являются синтетическими, то есть построены на чистой математике и не отражают особенности реального течения процесса. Однако, это позволяет смоделировать возможные нештатные ситуации и разработать методику их предотвращения. Общий вид интерфейса программы представлен на рис. 3.

Для визуализации всех генерируемых параметров и построения графиков на область окна программы помещаются объекты типов "label" и "chart", поскольку язык C++ рассчитан на работу со стандартными типами

данных, такими, как bool, char, int, float, double и им подобные, а MATLAB использует свой отдельный тип данных mxArray [14, 15].

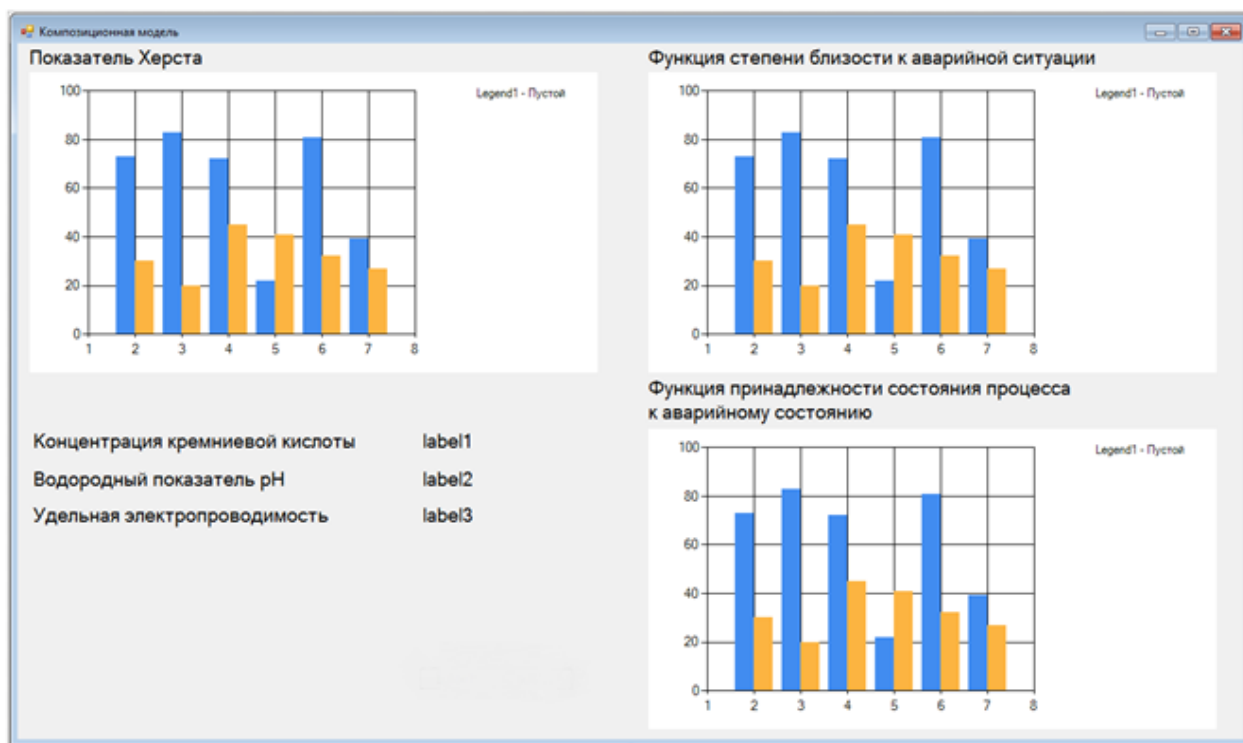


Рис. 3. - Общий вид интерфейса программы

В объекты с именами "label1", "label2", "label3" помещаются значения сгенерированных переменных, соответствующих значениям концентрации кремниевой кислоты (krem_kis), водородного показателя pH (ph) и удельной электропроводности (electro_prov).

Экспериментальные исследования КМПАС процесса ХВО

Рассмотрим работу программы в трех ситуациях:

- при работе с параметрами, не выходящими за пределы безаварийной работы;
- при работе с параметрами, вызывающими приближение к аварийной ситуации;
- при работе с параметрами, вызывающими аварийную ситуацию.

Зададим генерацию случайных значений переменных в пределах, допустимых при безаварийной работе, то есть показатели концентрации кремниевой кислоты будут изменяться в пределах от 1.0 до 1.4 мкс/см, показатели рН будут изменяться в пределах от 5.6 до 8.0, а показатели удельной электрической проводимости в пределах от 14 до 20мкг/дм³. Результаты эксперимента представлены на рис. 4.

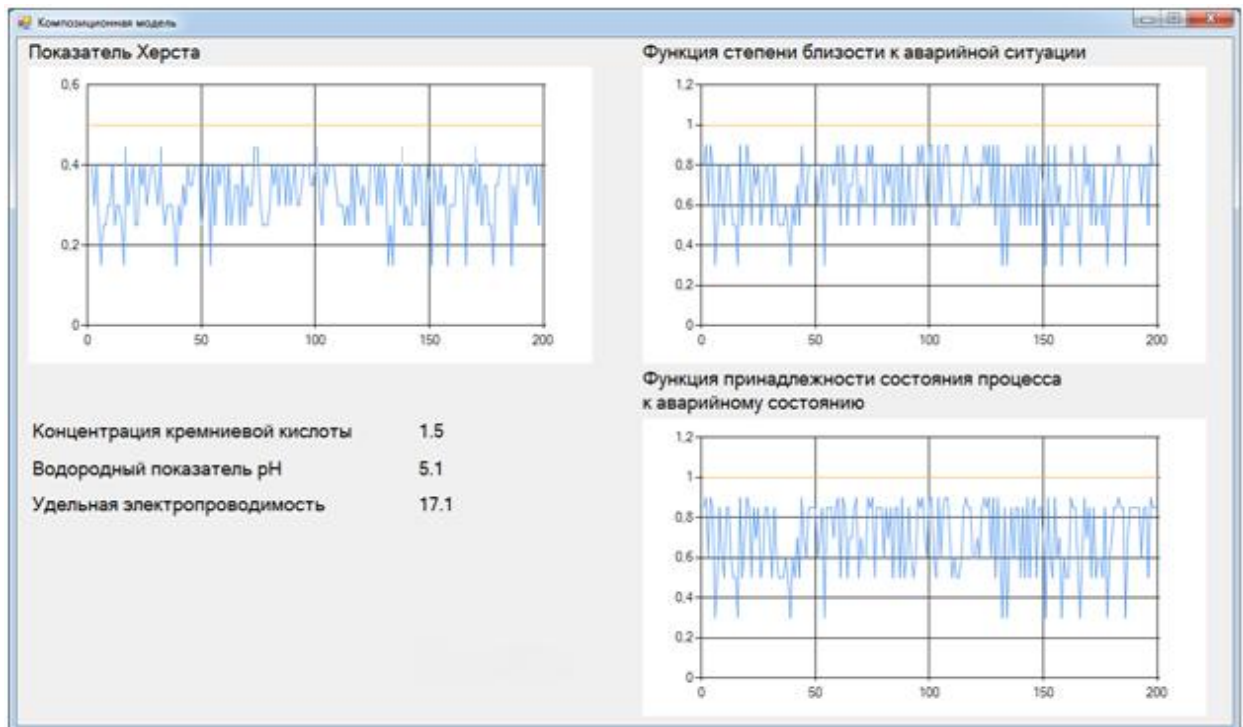


Рис. 4. - Вычислительный эксперимент со значениями, не выходящими за пределы безаварийной работы

Здесь отчетливо видно, что все модели прогнозирования не выявили отклонений от нормы и предоставили показатели, которые не предвидят аварийную ситуацию на интервале времени в 200 секунд. Отчетливо видно, что показатель Херста не выходит за пределы 0.45, что означает антиперсистенность этого показателя и при этих ограничениях параметров система не стремится к аварийной ситуации. То же самое можно сказать про показатели лингвистической модели о функции принадлежности состояния процесса к аварийному состоянию и показатели нейросетевой модели о

функции степени близости к аварийной ситуации. Хотя мы видим, что показатели стремятся к выходу за пределы 1, что означает наступление аварийной ситуации, этого не происходит, системы лишь реагируют случайные завышенные значения каждого из трех параметров из-за случайности их генерации.

Для проведения второго эксперимента были искусственно завышены показатели концентрации кремниевой кислоты на интервале времени 90-100 секунд. Это дало возможность оценить реакцию КМПАС на выход значений за установленные пределы безаварийной работы.

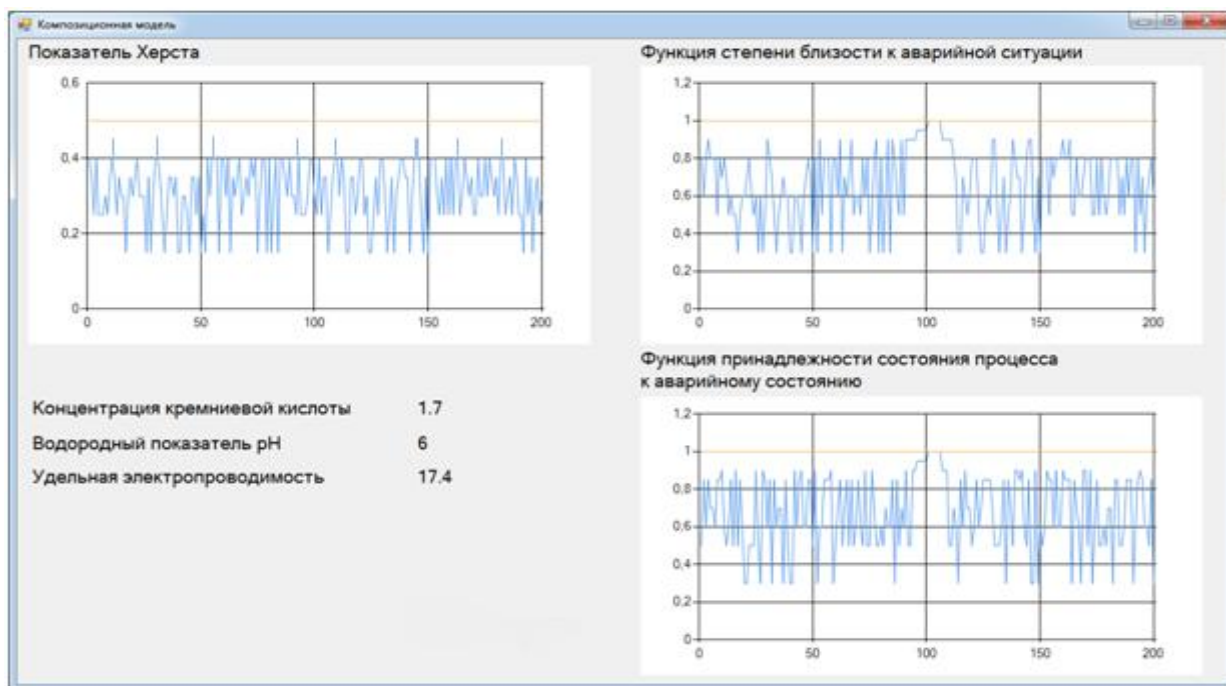


Рис. 5. - Реакция КМПАС на резкое повышение и последующее понижение концентрации кремниевой кислоты

На рис. 5 хорошо видно запаздывание термодинамической модели и скорость реакции нейросетевой и лингвистической моделей на искусственное завышение параметров. Как известно, термодинамическая модель, основанная на вычислении показателя Херста, проявляет себя на долговременных интервалах и не всегда способна оперативно отреагировать на изменение параметров, в то время как нейросетевая и лингвистическая

модели выдают результаты в зависимости от обучающей выборки и набора правил, в соответствии с которыми происходят вычисления.

В эксперименте, представленном на рис. 6, были искусственно завышены значения всех переменных, следующие с 60 секунды эксперимента. Графики программы отчетливо показывают аварийную ситуацию. Видно, что функция степени близости к аварийной ситуации и функция принадлежности состояния процесса к аварийному состоянию достигли граничного предела и слились с линией аварийного показателя. Также видно, что показатель Херста, вычисляемый в термодинамической модели прогнозирования, имеет существенное запаздывание, но также определил аварийную ситуацию и нарушение установленных граничных значений для технологического процесса ХВО.

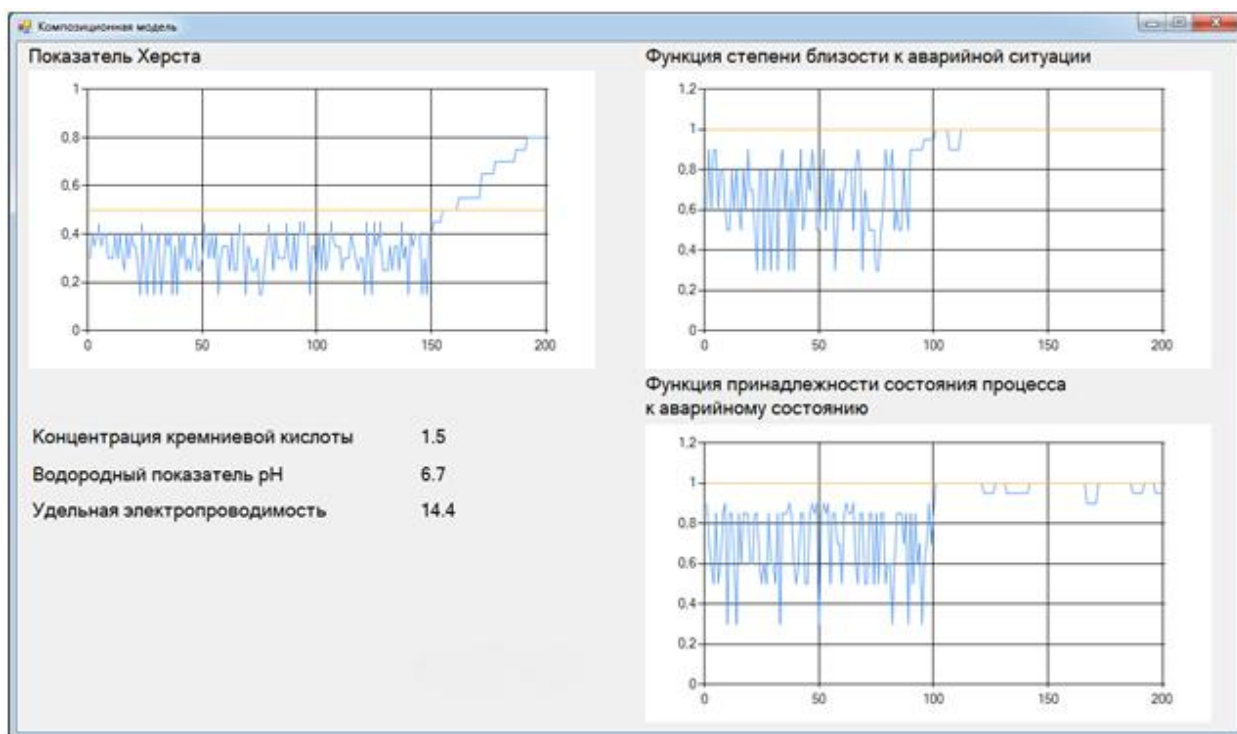


Рис. 6. Вычислительный эксперимент со значениями переменных, выходящими за пределы допустимых значений безаварийной работы

Отдельного пояснения требует наличие на графиках прямой линии. Эта прямая выполняет функцию граничной, т.е. приближение результатов

моделирования процесса к данной граничной линии свидетельствует о том, что дальнейшее протекание процесса без вмешательства приведет к аварии.

Дополнительным доказательством чувствительности функции степени близости к аварийной ситуации и функции принадлежности состояния процесса к аварийному состоянию могут служить их графики, рассмотреть которые можно в последнем эксперименте. Можно заметить, что они периодически входят в пределы безаварийной работы, но со временем возвращаются к аварийным показателям. Это можно объяснить тем, что параметры протекающего процесса в некоторые моменты времени соответствуют безаварийным, на что и реагируют данные модели прогнозирования.

Подводя итог, можно сказать, что данная КМПАС качественно оценивает значения показателей технологического процесса ХВО, адекватно реагирует на временные скачки параметров и дает возможность оценивать протекание процесса.

Выводы

1. Несмотря на выбранный шаг итерации КМПАС, составляющий 5 секунд, данное время не является критичным и может быть дополнительно увеличено. Такой вывод можно сделать, исходя из того, что процесс ХВО занимает длительное время и в целом вялотекуч.

2. Во втором эксперименте можно наблюдать расхождение показателей моделей, но это свойство КМПАС нельзя однозначно отнести к недостаткам. Модели прогнозирования дополняют друг друга, и объективная оценка состояния процесса ХВО должна проводиться на основании всех трех моделей. Об этом можно судить по графикам протекания процесса во втором и третьем экспериментах.

Литература

1. Тюрин О.Г., Кальницкий В.С., Жегров Е.Ф. Управление потенциально опасными технологиями (Монография). - М.: Инфаинженерия, 2011-288с.
2. Клевцов С.И., Клевцова А.Б., Буринов С.В. Модель параметрической качественной иерархической оценки состояния технической системы. Инженерный вестник Дона. 2015. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088.
3. Бандурин М.А., Бандурина И.П., Михайлин А.А., Филонов С.В. Реализация новых систем автоматизации прогнозирования остаточного ресурса водопроводящих сооружений с учетом их параметров надежности. Инженерный вестник Дона. 2015. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/3376.
4. Бурковский В.Л., Ткалич С.А., Котов Д.В. Структура системы автоматизированного управления технологическим процессом химводоочистки для АЭС // Электротехнические комплексы и системы управления. 2011. № 3. С. 56-59.
5. Tkalich S.A., Kravets O.Ja. Composite Prognostication Model of Emergencies at the Hazardous Industrial Enterprises // International Journal on Information Technologies and Security, No. 2 (vol. 11), 2019, pp. 29-34.
6. Ткалич С.А., Бурковский В.Л. Оптимальное календарное планирование работ в системе безаварийного управления АЭС // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2016. Т. 12. № 3. С. 16-20.
7. Ткалич С.А., Васильев Е.М. Идентификация состояния стохастических систем // Электротехнические комплексы и системы управления. 2008. №1. С. 44-46.

8. Esteves G.R.T., Bastos B.Q., Cyrinoc F.L., Calilid R.F., Souzab R.C. Long Term Electricity Forecast: A Systematic Review. *Procedia Computer Science*, Vol. 55, 2015, pp. 549-558.

9. Палухин П.Н., Поддубный В.В. Технология использования MATLAB-программ в средах визуального программирования C/C++ // *Вестник Томского государственного университета*. 2003. № 280. С. 309-318.

10. Галимянов Ф.А., Гафаров Ф.М., Емельянова Н.А. Использование среды MICROSOFT VISUAL STUDIO и языка программирования C++ для моделирования динамики образования нейронной сети // *Вестник Технологического университета*. 2015. Т 18. № 17. С. 197-202.

11. Томаев М.Х., Панарин В.Е. Модели, технологии и средства оптимизации программного кода, проектируемого в среде MICROSOFT VISUAL STUDIO // *Труды СКГМИ (ГТУ)*. 2011. № 18. С. 67-73.

12. Шалина О.Н., Фролова М.А. Особенности разработки визуальных приложений в интегрированной среде разработки MICROSOFT VISUAL STUDIO // *Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации*. 2016. № 6-2. С. 340-348.

13. Куликова Н.В. Создание массивов со случайными элементами в среде MATLAB // *Современные информационные технологии*. 2009. № 10. С. 167-168.

14. Нгуен З.Т., Сосинская С.С. Технология создания приложений на языке C++, использующих библиотеку функций MATLAB // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2013. Т. 38. № 2. С. 137-141.

15. Евстропов В.А. Исследование возможности создания модуля визуализации и его подключения к базе программной среды MATLAB // *Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова*. 2012. № 1. С. 30-33.

References

1. Tjurin O.G., Kal'nickij V.S., Zhegrov E.F. Upravlenie potencial'no opasnymi tehnologijami: Monografija [Management of potentially hazardous technologies]. M.: Infa-inzhenerija, 2011, 288 p.
 2. Klevcov S.I., Klevcova A.B., Burinov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088.
 3. Bandurin M.A., Bandurina I.P., Mihajlin A.A., Filonov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/3376.
 4. Burkovskij V.L., Tkalich S.A., Kotov D.V. Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija. 2011. № 3. pp. 56-59.
 5. Tkalich S.A., Kravets O.Ja. International Journal on Information Technologies and Security, № 2 (vol. 11), 2019, pp. 29-34.
 6. Tkalich S.A., Burkovskij V.L. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2016. T. 12. № 3. pp. 16-20.
 7. Tkalich S.A., Vasil'ev E.M. Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija. 2008. №1. pp. 44-46.
 8. Esteves G.R.T., Bastos B.Q., Cyrinoc F.L., Calilid R.F., Souzab R.C. Procedia Computer Science, Vol. 55, 2015, pp. 549-558.
 9. Paluhin P.N., Poddubnyj V.V. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2003. № 280. pp. 309-318.
 10. Galimjanov F.A., Gafarov F.M., Emel'janova N.A. Vestnik Tehnologičeskogo universiteta. 2015. T 18. № 17. pp. 197-202.
 11. Tomaev M.H., Panarin V.E. Trudy SKGMI (GTU). 2011. № 18. pp. 67-73.
 12. Shalina O.N., Frolova M.A. Informacionnye tehnologii. Radiojelektronika. Telekommunikacii. 2016. № 6-2. pp. 340-348.
 13. Kulikova N.V. Sovremennye informacionnye tehnologii. 2009. № 10. pp. 167-168.
-



14. Nguen Z.T., Sosinskaja S.S. Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2013. T. 38. № 2. pp. 137-141.

15. Evstropov V.A. Vestnik Hakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova. 2012. № 1. pp. 30-33.