

УДК 681.3

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С. А. Ткалич, к.т.н., доцент кафедры ЭАУТС ВГТУ, Воронеж, Россия;
orcid.org/0000-0001-8689-9798, e-mail: sergeytkalich@mail.ru

Рассматривается задача выбора инструментов для построения композиционной модели прогнозирования аварийных ситуаций технологических процессов. **Целью работы** является разработка инструментальной методики для прогнозирования аварийных ситуаций технологических процессов. Модель прогнозирования представляет собой композицию термодинамической, лингвистической и нейросетевой компонент. Использован интегральный критерий безаварийного управления технологическими процессами, представляющий собой функционал, одновременно учитывающий не только текущие значения параметров процесса, но и имеющиеся в распоряжении системы безаварийного управления запасы времени на приведение критического параметра к его номинальным пределам. Приводится обоснование выбора инструментов построения модели. Используются два инструмента математического и визуального построения: MATLAB и MICROSOFT VISUAL STUDIO. Описана методика интеграции MATLAB и MICROSOFT VISUAL STUDIO. Приведена блок-схема системы прогнозирования. Рассмотрен пример композиционной модели прогнозирования аварийных ситуаций технологического процесса химводоочистки. Приведены вычислительные экспериментальные исследования модели. Сделаны выводы о работоспособности предложенной инструментальной методики для многокомпонентных моделей прогнозирования аварийных ситуаций технологических процессов и её перспективности при модернизации систем автоматизации.

Ключевые слова: прогнозирование, аварийная ситуация, технологический процесс, композиционная модель, интегральный критерий, химводоочистка, режим реального времени, динамическое построение графиков.

DOI: 10.21667/1995-4565-2022-79-101-113

Введение

Объекты химической промышленности, атомные электростанции, нефте- и газопроводы и др. являются опасными производственными объектами (ОПО) с наибольшим риском возникновения аварии и наиболее тяжелыми последствиями подобных инцидентов [1].

Методология снижения уровня риска должна содержать процедуру анализа аварийного риска, включая предварительный анализ опасностей, математическое моделирование и прогноз аварийного риска [2].

Недопущение техногенной ситуации ставит задачу безаварийного управления технологическими процессами [3].

Постановка задачи

Композиционная модель прогнозирования аварийных ситуаций (КМПАС) осуществляет прогнозирование аварийных ситуаций, включая в себя долгосрочный и текущий прогноз. Долгосрочный прогноз основывается на термодинамической модели, а текущий – на лингвистической и нейросетевой моделях, при этом в ситуациях, не предусмотренных обучающими выборками, предпочтение отдается нейросетевой модели [4].

Для предотвращения аварии композиционная модель осуществляет непрерывный мониторинг состояния технологического процесса и анализирует критические параметры аварийных ситуаций.

Модель прогнозирования аварийных ситуаций необходима для выявления критического параметра и расчета запаса времени, имеющегося в распоряжении системы безаварийного

управления на приведение критического параметра к его номинальным пределам, при условии достаточности имеющегося для этого запаса времени $t_{\text{запаса}}$ и времени этого приведения $t_{\text{прив}}$, необходимого соответствующему каналу управления (регулирования).

Естественным образом возникает задача выбора инструментов для построения КМПАС.

Интегральный критерий безаварийного управления

Интегральный критерий безаварийного управления технологическими процессами (ИКб/аУ) представляет собой функционал $S = F(x(t), t_{\text{запаса}}, t_{\text{прив}})$, одновременно учитывающий не только текущие значения n параметров процесса $x = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n]$, но и имеющиеся в распоряжении системы управления запасы времени $t_{\text{запаса}}$ и $t_{\text{прив}}$, то есть являющийся в указанном смысле интегральным [5].

Состояние (критерий S) управляемого технологического процесса может быть отнесено к одной из следующих ситуаций:

$$S = \begin{cases} S_1, & A = 0; \\ S_2, & A = 1, t_{\text{запаса}} \geq t_{\text{прив}}; \\ S_3, & A = 1, t_{\text{запаса}} < t_{\text{прив}}, \end{cases} \quad (1)$$

где S_1 – нормальная ситуация. Параметры процесса находятся в пределах номинальных значений, и система прогнозирования аварийной ситуации не указывает на её приближение: прогноз на аварию $A = 0$;

S_2 – предаварийная ситуация. Динамика параметра (параметров) процесса дает положительный прогноз на аварию $A = 1$, но время $t_{\text{запаса}}$, оставшееся по прогнозу до аварии, превосходит время $t_{\text{прив}}$, необходимое системе для её предотвращения: $t_{\text{запаса}} \geq t_{\text{прив}}$, – т.е. запаса реального времени достаточно для перевода процесса из состояния S_2 в состояние S_1 ;

S_3 – авария. Термин «авария», точнее – «аварийная ситуация», здесь указывает не на то, что авария произошла, т.е. процесс достиг предельного состояния, но что при положительном прогнозе $A = 1$ процесс стал либо неуправляем, либо у системы управления недостаточно времени для предотвращения аварии: $t_{\text{запаса}} < t_{\text{прив}}$. В этой ситуации эксплуатация технологического объекта должна быть прекращена.

Композиционная модель прогнозирования аварийных ситуаций

Композиционная модель прогнозирования представлена блок-схемой на рисунке 1 [6].

Выходной величиной для термодинамической модели является показатель персистентности H (показатель Херста), который изменяется от 0 до 1; для лингвистической модели – мера близости к аварийной ситуации L (может принимать значения от 0 до 1), и для нейросетевой модели – функция степени близости к аварии N (также изменяется от 0 до 1).

Для предотвращения аварии композиционная модель осуществляет непрерывный мониторинг состояния технологического процесса и анализирует критические параметры аварийных ситуаций.

Определить, по какому из параметров процесса происходит движение к аварийной ситуации, можно с помощью теории чувствительности для функции состояния технологического процесса или методом анализа фрактального движения, который может быть осуществлён полностью формальным путём в реальном масштабе времени методом регрессионного анализа [7-9].

Важной задачей является также наделение модели прогнозирования не только функцией мониторинга, но и функцией управления. Таким образом, модель прогнозирования аварийных ситуаций необходима для выявления критического параметра и расчета времени запаса $t_{\text{запаса}}$, имеющегося в распоряжении системы безаварийного управления на приведение критического параметра к его номинальным пределам, с помощью методики и алгоритма расчета интегрального критерия безаварийного управления [10].



Рисунок 1 – Блок-схема композиционной модели прогнозирования

Figure 1 – Block diagram of compositional prediction model

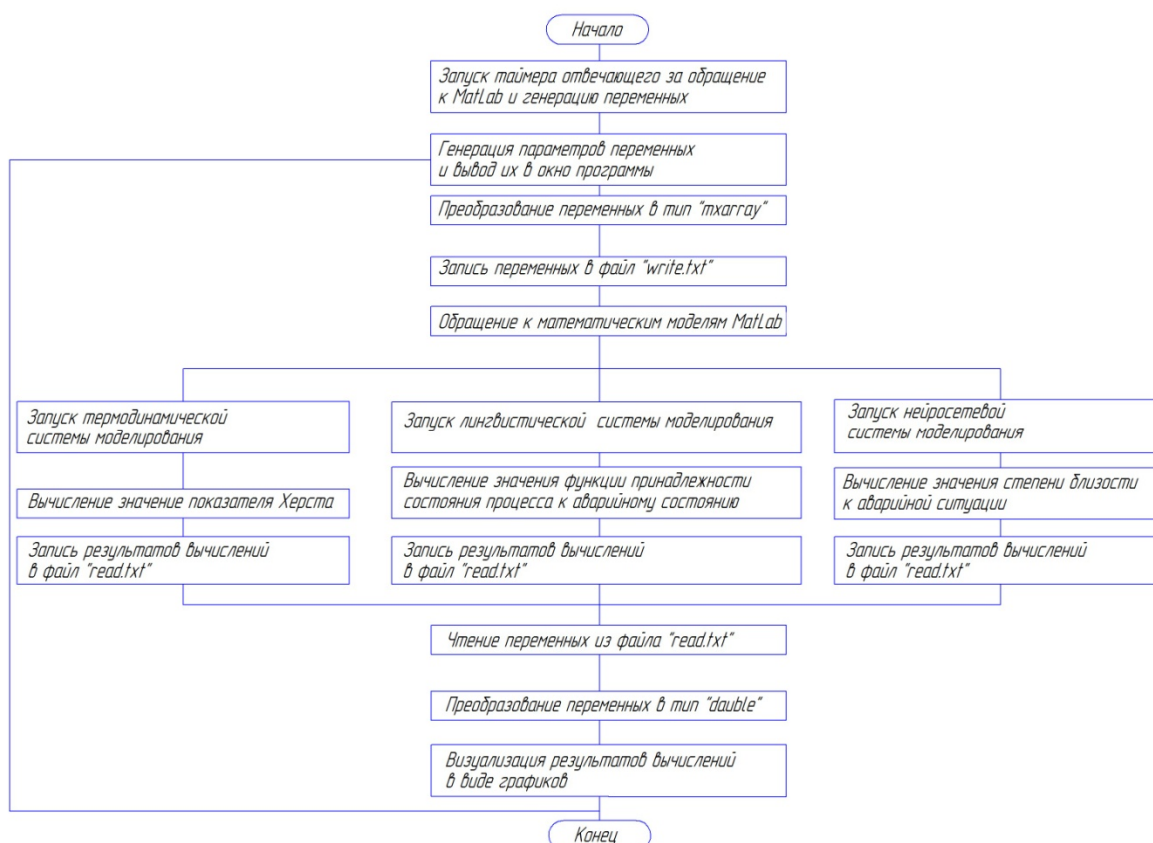


Рисунок 2 – Блок-схема системы прогнозирования

Figure 2 – Block diagram of forecasting system

Общая блок-схема системы прогнозирования представлена на рисунке 2.

Учитывая, что современные вычислительные средства все больше ориентированы на параллельную обработку данных и в меньшей степени опираются на вычислительную мощность отдельно взятого процессора, исходя из блок-схемы, можно отметить, что параллель-

ная работа моделей прогнозирования повышает общее быстродействие КМПАС. Однако, как следует из блок-схемы, все результаты записываются в один файл, что означает невозможность получения «свежих» результатов визуальной оболочкой до того момента, пока свою работу не закончит самая медленная и требовательная к вычислительной мощности компонента композиционной модели прогнозирования.

Визуальная оболочка содержит в своем составе таймер, что также является дополнительным инструментом управления, поскольку, уменьшая время повторных обращений к программному пакету MATLAB, можно добиться большего количества итераций моделей прогнозирования. Но отталкиваться при этом необходимо от времени выполнения самой длительной из них. В данном случае был принят интервал в 5 секунд, так как самая длительная обработка данных у нейросетевой модели прогнозирования составляет $3,7 \pm 10$ % секунды.

Обоснование выбора инструментов построения КМПАС

Для разработки КМПАС используются два инструмента математического и визуального построения.

Для проведения всех необходимых расчетов и получения выходных значений по каждой из моделей прогнозирования выбран программный пакет MATLAB [11].

Для визуализации интерфейса пользователя и построения графиков отображающих результаты вычислений MATLAB выбраны визуальная среда программирования MICROSOFT VISUAL STUDIO 2010, поддерживающая интеграцию компонентов MATLAB, и язык C++ – высокоуровневый компилируемый язык программирования общего назначения со статической типизацией, который подходит для создания самых различных приложений [12].

КМПАС возможно разработать полностью средствами языка C++, но как показывает практика, недостаточная оптимизация процессов вычисления сильно сказывается на быстродействии программного обеспечения. Поэтому средства языка C++ использованы только для обращения к программному пакету MATLAB и визуализации результатов вычислений, что повышает быстродействие композиционной модели.

Язык, инструментарий и встроенные математические функции MATLAB позволяют исследовать различные подходы и получать решение быстрее, чем с использованием электронных таблиц или традиционных языков программирования, таких как C/C++/C# или Java [13].

MATLAB способен работать и принимать обращения от сторонних программ в двух режимах:

Engineinterface (для работы с языками C/C++ и Fortran)
Automationserver (для работы с платформами COM и .NET)

В данном случае использован режим Engineinterface, который требует предустановленного приложения MATLAB, настройки всех параметров для корректной интеграции и работы приложения. Одним из вариантов создания композиционной модели рассматривалось использование языка программирования C# и соответствующего ему режима Automationserver, так как в этом случае КМПАС имеет возможность работать с заранее созданными отдельными библиотеками, не теряя времени на передачу, преобразование и ожидание отклика от приложения MATLAB. Весьма ощутимым плюсом в этом случае является возможность функционирования КМПАС на доступном аппаратном обеспечении под управлением ОС Windows. Однако данный метод осложняется одним важным фактором: необходимостью структурирования моделей, выполненных в MATLAB в соответствии с правилами языка программирования C#, что не всегда представляется возможным, а если и выполнимым, то значительно снижает скорость выполнения расчетов [14].

Интеграция MATLAB и MICROSOFT VISUAL STUDIO

Рассмотрим пошагово, как интегрировать MATLAB и MICROSOFT VISUAL STUDIO.

Вначале необходима регистрация MATLAB в качестве COM-сервера. Для этого в командном окне MATLAB необходимо ввести команду «!matlab /regserver».

В свойствах проекта программы в MICROSOFT VISUAL STUDIO необходимо настроить используемые библиотеки, указать пути к этим библиотекам, изменить настройки компилятора и изменить набор используемых компилятором инструментов [15].

Для этого надо добавить новые библиотеки для работы с типом данных, который используется в MATLAB. Интеграцию библиотек иллюстрирует рисунок 3.

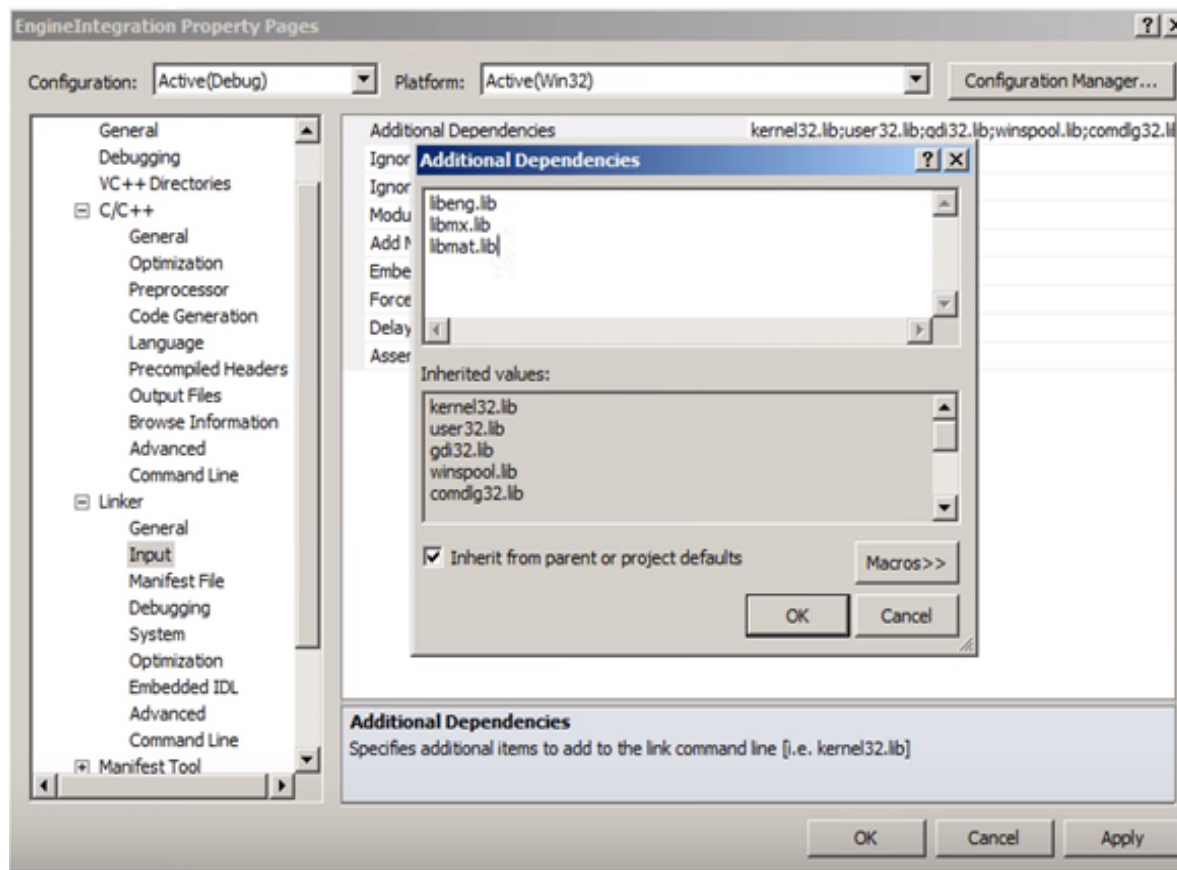


Рисунок 3 – Интеграция библиотек для работы с функционалом MATLAB ENGINE
Figure 3 – Integration of libraries to work with MATLAB ENGINE functionality

Всего необходимо подключить три библиотеки: libeng.lib, libmx.lib, libmat.lib.

Библиотека libeng.lib отвечает за работу с функционалом MATLAB ENGINE. Она добавляет в MICROSOFT VISUAL STUDIO средства и возможности обращения к исполняемым файлам MATLAB и обеспечивает связь этих двух приложений.

Библиотека libmx.lib отвечает за функционал по работе с типом данных mxArray, который используется в MATLAB. Поскольку язык C++ рассчитан на работу со стандартными типами данных, такими как bool, char, int, float, double и им подобным, а MATLAB использует свой отдельный тип данных mxArray, то совместить эти программы было бы невозможно, не подключив данную переходную библиотеку, которая позволит MICROSOFT VISUAL STUDIO преобразовывать данные из одного типа в другой, не прибегая к сложным манипуляциям [16, 17].

Библиотека libmat.lib отвечает за работу с матрицами. Поскольку MATLAB получает данные, обрабатывает их и выводит результаты вычислений исключительно в виде матриц или им подобных массивов данных, библиотека компонентов libmat.lib дает возможность MICROSOFT VISUAL STUDIO работать с данными такого формата [18].

Свойства проекта Platform Toolset (рисунок 4) отвечают за набор используемых инструментов и средств разработки приложений, а также за наборы инструкций .NET Framework, предоставления средств и библиотек, специфичных для разработки определенных видов приложений. Например, может быть использован пакет Platform Toolset Windows7.1SDK, который связывает .NET Framework версии 3.5 и MATLAB.

Настройки путей доступа к библиотекам и обращение к файлам коренного каталога MATLAB заключаются в добавлении необходимых библиотек в папку DEBUG исполняемой программы [19].

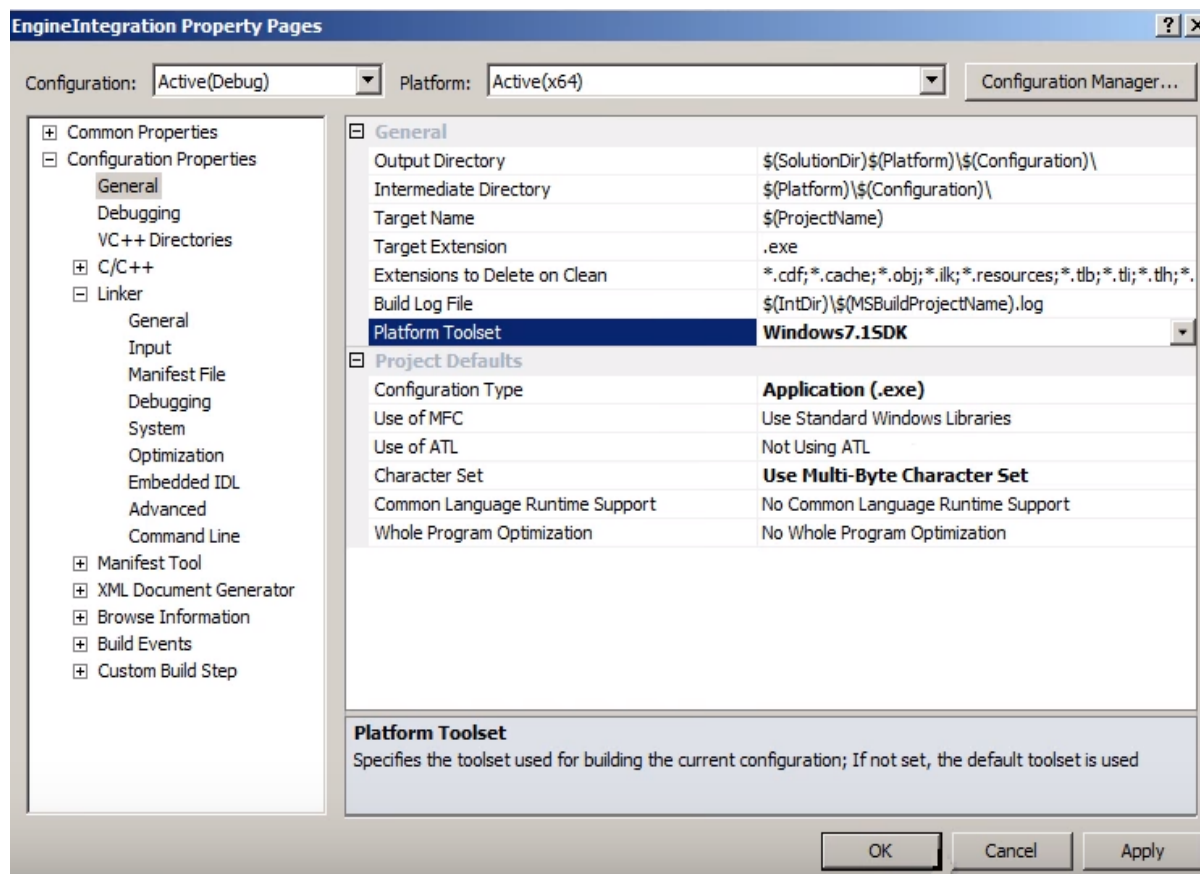


Рисунок 4 - Настройка параметров Platform Toolset

Figure 4 - Configuring Platform Toolset parameters

Применение КМПАС к технологическому процессу химводоочистки

В качестве примера рассмотрим композиционную модель прогнозирования аварийных ситуаций технологического процесса химводоочистки (ХВО) на АЭС.

Основные контролируемые параметры процесса ХВО приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Контролируемые параметры

Table 1 – Controlled parameters

№ п/п	Показатели	Значение
1	Удельная электрическая проводимость, не более	1,2 мкС/см
2	Величина pH, ед. pH	5,6-8,0
3	Концентрация кремниевой кислоты, не более	20 мкг/дм ³

В исходном коде таймера записан код, отвечающий за генерацию значений переменных, имитирующих реальные изменения показателей концентрации кремниевой кислоты, водородного показателя pH и удельной электрической проводимости, например для pH:

```
double ph=0;

int a1, b1, a2, b2, a3, b3;
a1=1; b1=2; a2=5; b2=8; a3=14; b3=20;

ph=a2 + 0.1*(rand() % (10*(b2 - a2))); //srand(ph);
```

Генерация переменных происходит каждые 5 секунд и имеет заранее ограниченные пределы, в которых процесс ХВО не выходит из-под контроля.

После того как сгенерированы переменные, они выводятся на экран для визуализации происходящего процесса, а также происходит их преобразование из типа данных «double», с которым работает MICROSOFT VISUAL STUDIO, в тип данных «mxarray», который может быть прочитан программным пакетом MATLAB, и происходит запись в файл «write.txt».

```
mxarray ph_1 = (double) ph;  
ofstream fout("write.txt");  
fout<< ph_1;  
fout.close();
```

На этом этапе в работу вступает программный пакет MATLAB. При обращении к выполнению его функций происходит считывание файла «write.txt», из которого на вход данных расчетных моделей поступают значения сгенерированных переменных. По результатам работы формируются три выходных значения, соответствующих каждой из систем моделирования: для термодинамической системы это показатель Херста; для нейросетевой системы это степень близости к аварийной ситуации; для лингвистической системы это функция принадлежности состояния процесса к аварийному состоянию. Все эти результаты заносятся в файл «read.txt» с соответствующим типом данных «mxarray».

Для дальнейшего функционирования программы необходимо опять произвести процедуру преобразования типов данных. Все эти преобразования происходят без потери знаков после запятой. Иначе это может привести к неправильной интерпретации графиков и срабатыванию ложной тревоги с соответствующими результатами для всего процесса ХВО.

Для преобразования типов данных необходимо открыть файл для чтения и, забрав из него значения соответствующих переменных, занести их в память программы:

```
ifstream fin ("read.txt");  
fin.getline (ph_1, 2);  
double ph_1 = (mxarray) ph;
```

На этом этапе работа с математическими функциями и преобразованиями закончена и в работу вступает функционал MICROSOFT VISUAL STUDIO по построению визуальной оболочки.

Для визуализации всех генерируемых параметров и построения графиков на область окна программы помещаются объекты типов «label» и «chart» (рисунок 5).

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

Для динамического изменения при каждой итерации программы эти значения вычисляются в исходном коде таймера и в тот же момент помещаются на форму с помощью данных преобразования:

```
std::ostringstream str2;  
str2 << ph;  
std::string str2 = str2.str();  
this->label2->Text = gcnew String(str2.c_str());
```

Данные преобразования отвечают за перевод каждой переменной из типа данные «double» в тип данных «char». Так как компонент «label» не может работать с численными типами данных, а от преобразования численного значения в текстовое не страдает точность вычислений, то этот метод вполне приемлем.

Далее следует заполнение графиков результатами работы моделей прогнозирования, выполненными функциями MATLAB.

Компоненты chart1, chart2 и chart3 соответствуют результатам работы термодинамической, нейросетевой и лингвистической моделей прогнозирования. За координаты по оси ОХ

принимаются значения системного времени, отсчитывающиеся в секундах, а за координаты по оси ОУ принимаются значения работы функций MATLAB.

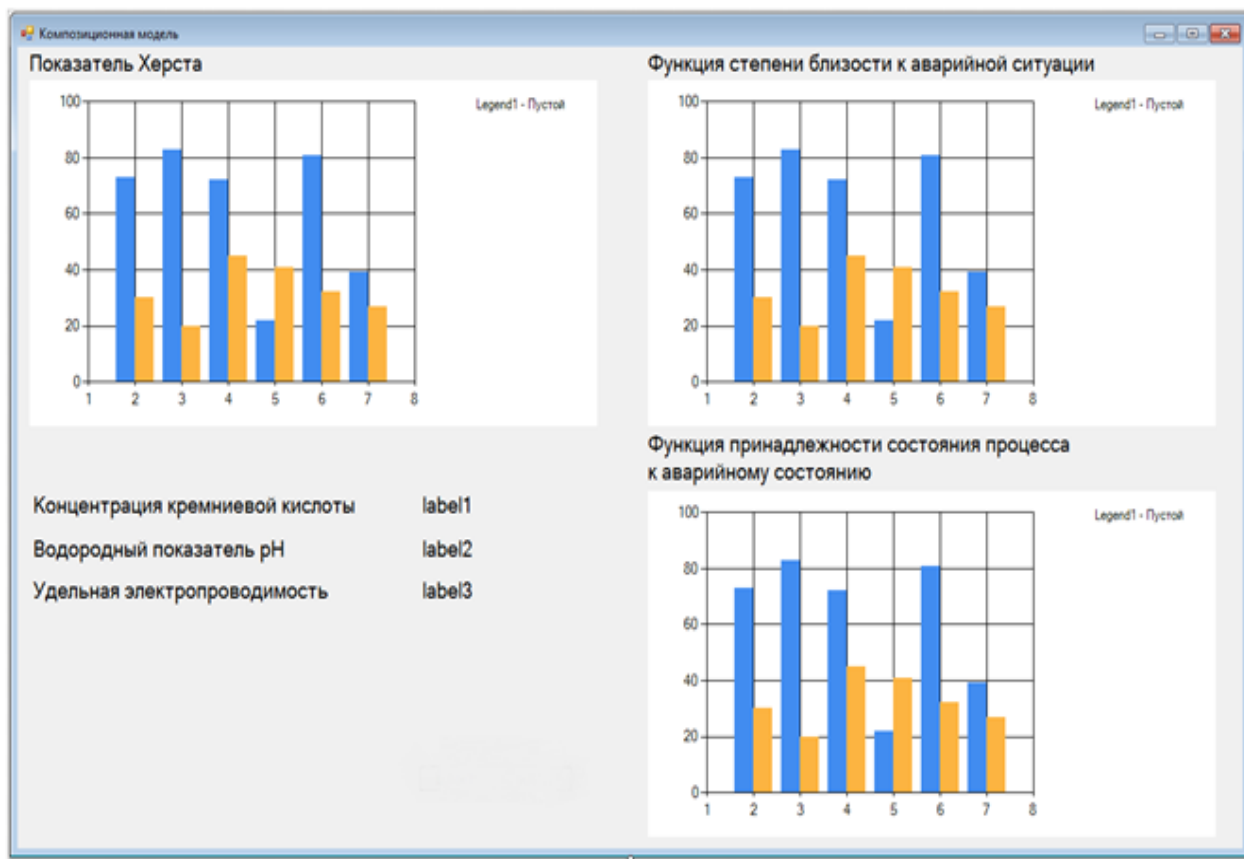


Рисунок 5 – Общий вид интерфейса программы
Figure 5 – General view of program interface

Для визуального понимания того, что система близится к аварийной ситуации, введена дополнительная линия на графике, которая идентифицирует превышение контролируемых параметров. При этом оператор будет понимать, что система утратила или утрачивает равновесие.

Соответствующий код для всех трех объектов «chart» выглядит следующим образом:

```
chart2->Series["Series1"]->ChartType=System::Windows::Forms:
:DataVisualization::Charting::SeriesChartType::Line;
chart2->Series["Series2"]->ChartType=System::Windows::Forms:
:DataVisualization::Charting::SeriesChartType::Line;
:DataVisualization::Charting::SeriesChartType::Line;
```

Данный код отвечает за одну функцию: настройку правила построения графика. Используя его, мы добиваемся построения графика в привычном для нас виде. Иначе, без использования этих параметров, на графике была бы построена нечитаемая гистограмма.

Компонент кода «Series1» для каждого из трех графиков отвечает за построение интересующего нас значения каждой из моделей прогнозирования, в то время как компонент кода «Series2» отвечает за построение ограничивающей линии.

Заполнение графиков значениями происходит по выполнению следующего кода:

```
chart2->Series["Series1"]->Points->AddXY(timer.interval->5000,ph);
chart2->Series["Series2"]->Points->AddXY(timer.interval->5000, ph);
```

Компонент «Points->AddXY» отвечает за заполнение в автоматическом режиме при каждой итерации вычислений графиков, что обеспечивает работу в режиме реального времени и динамическое построение графиков.

Экспериментальные исследования КМПАС технологического процесса ХВО

Для проведения вычислительных экспериментов модель имеет возможность генерировать параметры контролируемых переменных [20].

Рассмотрим работу модели в следующих ситуациях:

- при работе с параметрами, вызывающими приближение к аварийной ситуации;
- при работе с параметрами, вызывающими аварийную ситуацию.

Для проведения первого 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.

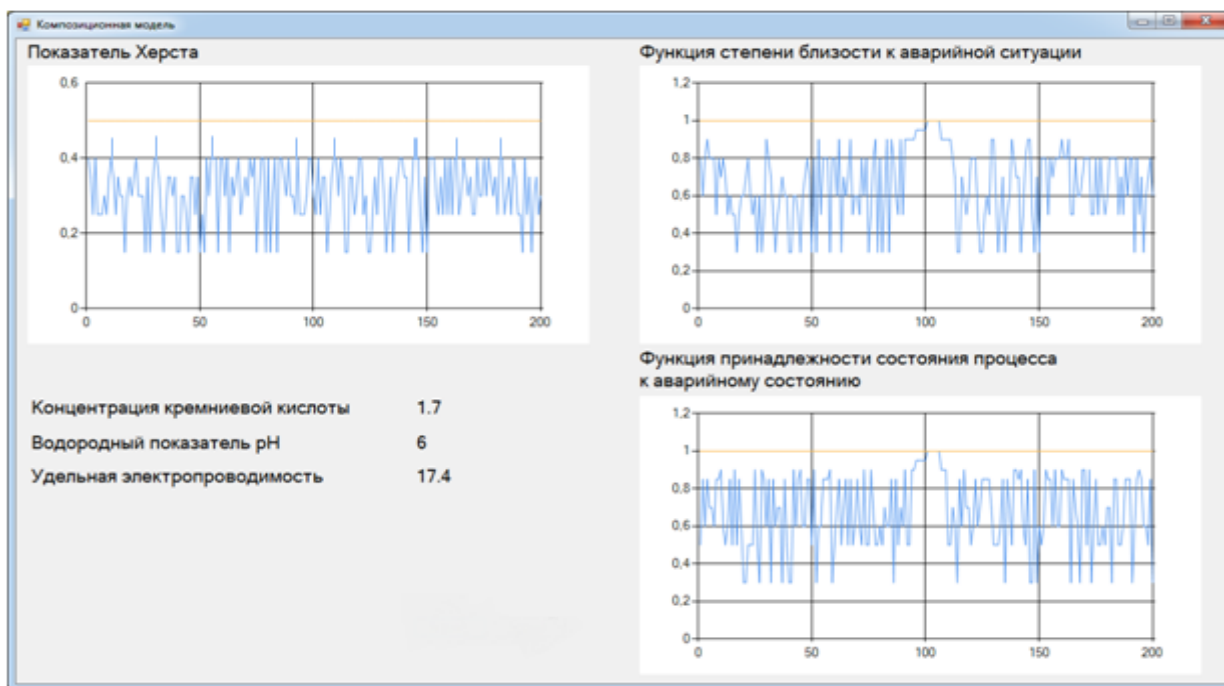


Рисунок 6 – Реакция композиционной модели на резкое повышение и последующее понижение концентрации кремниевой кислоты

Figure 6 – Response of compositional model to sharp increase and subsequent decrease in the concentration of silicic acid

На рисунке 6 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.

Во втором эксперименте, представленном на рисунке 7, были искусственно завышены значения всех переменных, следующие с 60-й 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.

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

границной линии свидетельствует о том, что дальнейшее протекание процесса без вмешательства приведет к аварии.

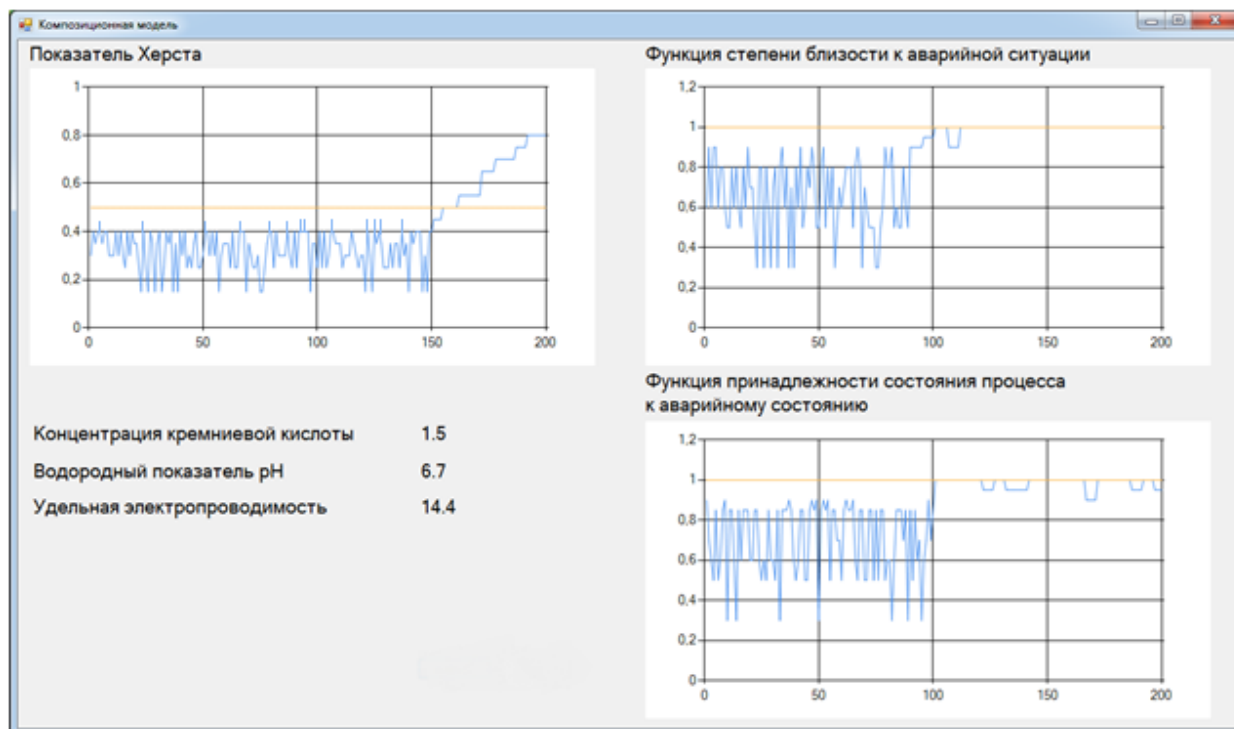


Рисунок 7 – Вычислительный эксперимент со значениями переменных, выходящими за пределы допустимых значений безаварийной работы

Figure 7 – Computational experiment with variables values that go beyond the permissible values of accident-free operation

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.

Новизна методики заключается в том, что интегрированное применение MATLAB и MICROSOFT VISUAL STUDIO позволяет создавать композиционную визуальную оболочку для многокомпонентных моделей прогнозирования аварийных ситуаций технологических процессов.

Методика определяет качественно новый подход к реализации системы прогнозирования аварийных ситуаций технологических процессов за счет того, что компоненты модели прогнозирования дополняют друг друга и объективная оценка состояния технологического процесса производится на основании прогноза всех трех моделей.

Оригинальность идеи использования данной методики в том, что КМПАС построена на основе концепции безаварийного управления технологическими процессами, исключающей возможность нарушения или прекращения технологического процесса и использующей обобщенный критерий, интегрирующий в формате безаварийности математические и технические инструменты и учитывающий ресурсную составляющую.

Выводы

1. Инструментальная методика на основе интегрированного применения MATLAB и MICROSOFT VISUAL STUDIO позволяет создавать композиционную визуальную оболочку для многокомпонентных моделей прогнозирования аварийных ситуаций технологических процессов.

2. Хотя инструментарий разработки и соответствует нынешним требованиям к программному обеспечению, нельзя не отметить динамичность его совершенствования. Данная КМПАС эксплицитна к прогрессивным решениям, и реализация КМПАС средствами языка C#, дополненного инструментарием MATLAB Automationserver, позволит ей еще долгое время оставаться в потоке современных приложений и не вызовет особых сложностей при модернизации систем автоматизации.

Библиографический список

1. Горский В. Г., Швецова-Шиловская Т. Н., Кирсанов В. В., Терешенко Г. Ф. Анализ аварийного риска и обеспечение безопасности химически опасных объектов // Химическая промышленность. 2002. № 4. С. 51-55.

2. Тюрин О. Г., Кальницкий В. С., Жегров Е. Ф. Управление потенциально опасными технологиями: монография.-М.: Инфа-инженерия, 2011. 288 с.

3. Ткалич С. А. Безаварийное управление технологическими процессами: монография / С.А. Ткалич; под ред. д-ра техн. наук, проф. В. Л. Бурковского. Воронеж: Издательство «Научная книга», 2018. 152 с.

4. Ткалич С. А., Бурковский В. Л. Реализация композиционной модели прогнозирования аварийных ситуаций в промышленных системах безаварийного управления // Системы управления и информационные технологии. 2010. № 2 (40). С. 91-94.

5. Ткалич С. А. Интегральный критерий безаварийного управления технологическими процессами // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 4.1. С.188-191.

6. Tkalic S. A., Kravets O. Ja. Composite Prognostication Model of Emergencies at the Hazardous Industrial Enterprises // International Journal on Information Technologies and Security. 2019, no. 2 (vol. 11), pp. 29-34.

7. Ткалич С. А., Васильев Е. М. Идентификация состояния стохастических систем // Электротехнические комплексы и системы управления. 2008. № 1. С. 44-46.

8. Ткалич С. А. Определение доминирующих параметров риска в системах прогнозирования аварийных ситуаций // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 1. С. 81-84.

9. Ткалич С. А. Анализ критических параметров аварийных ситуаций технологических процессов // Электротехнические комплексы и системы управления. 2011. № 2. С. 69-71.

10. Ткалич С. А. Алгоритм расчета интегрального критерия безаварийного управления // Системы управления и информационные технологии. 2011. № 1.1 (43). С. 176-179.

11. 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.

12. 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.

13. Потапов Д. А. Динамическая интеграция функций MATLAB в компьютерные системы моделирования, реализованные на языке JAVA // Информатика и системы управления. 2012. № 2 (32). С. 64-74.

14. Авдеенко Т. В., Забуга А. А. Метод реализации интегрированной программной системы для исследования математических моделей с использованием символьных вычислений на базе MATLAB // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2008. № 2 (31). С. 39-57.

15. Джонсон Б., Скибо К., Янг М. Основы MICROSOFT VISUAL STUDIO.NET 2003. Брайан Джонсон, Крэйг Скибо, Марк Янг; [Пер. с англ. А. Г. Королев, К.А. Меньшов]. Москва, 2003.

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

17. 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.

18. 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.

19. 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.

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

UDC 681.3

INSTRUMENTAL METHODOLOGY TO FORECAST EMERGENCY SITUATIONS IN TECHNOLOGICAL PROCESSES

S. A. Tkalic, Ph.D. (Tech.), Assistant Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; orcid.org/0000-0001-8689-9798, e-mail: sergeytkalic@mail.ru

The problem of choosing tools for constructing a compositional model of forecasting process accidents is considered. The aim of the work is to develop an instrumental methodology for predicting emergency situations of technological processes. The forecasting model is a composition of thermodynamic, linguistic and neural network components. An integral criterion for accident-free control of technological processes is used, which is a functional that simultaneously takes into account not only the current values of process parameters, but also the time reserves available to accident-free control system for bringing a critical parameter to its nominal limits. The justification of the choice of tools for constructing the model is given. Two tools of mathematical and visual construction are used: MATLAB and MICROSOFT VISUAL STUDIO. A method of integrating MATLAB and MICROSOFT VISUAL STUDIO is described. Block diagram of forecasting system is presented. An example of a compositional model for emergency forecasting of chemical water cleaning process is considered. The computational experimental research of the model is presented. Conclusions about the operability of proposed instrumental methodology for multicomponent models of technological processes emergency forecasting and its perspectives for modernization of automation systems are made.

Key words: forecasting, emergency, technological process, compositional model, integral criterion, chemical water cleaning, real-time mode, dynamic graphing.

DOI: 10.21667/1995-4565-2022-79-101-113

References

1. Gorskij V. G., Shvecova-Shilovskaja T. N., Kirsanov V. V., Tereshhenko G. F. Analiz avariynogo riska i obespechenie bezopasnosti himicheskii opasnykh ob#ektov. *Himicheskaja promyshlennost'*, 2002, no. 4. pp. 51-55 (in Russian).

2. Tjurin O. G., Kal'nickij V. S., Zhigrov E. F. *Upravlenie potencial'no opasnymi tehnologijami: Monografija*. M.: Infa-inzhenerija, 2011, 288 p. (in Russian).

3. Tkalic S. A. *Bezavariynoe upravlenie tehnologicheskimi processami: Monografija*. / S.A. Tkalic; pod red. d-ra tehn. nauk, prof. V. L. Burkovskogo. Voronezh: Izdatel'stvo «Nauchnaja kniga», 2018. 152 p. (in Russian).

4. Tkalic S. A., Burkovskij V. L. Realizacija kompozicionnoj modeli prognozirovaniya avariynyh situacij v promyshlennyh sistemah bezavariynogo upravlenija. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii*. 2010, vol. 40, no. 2, pp. 91-94 (in Russian).

5. Tkalic S. A. Integral'nyj kriterij bezavariynogo upravlenija tehnologicheskimi processami. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii*. 2009, vol. 38, no. 4.1, pp. 188-191 (in Russian).

6. **Tkalich S. A., Kravets O. Ja.** Composite Prognostication Model of Emergencies at the Hazardous Industrial Enterprises. *International Journal on Information Technologies and Security*. 2019, no. 2 (vol. 11), pp. 29-34 (in English).
7. **Tkalich S. A., Vasil'ev E. M.** Identifikacija sostojanija stohasticheskikh sistem. *Jeletrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija*. 2008, no. 1, pp. 44-46.
8. **Tkalich S. A.** Opredelenie dominirujushchih parametrov riska v sistemah prognozirovaniya avariynyh situacij. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2010, vol. 6, no. 1, pp. 81-84 (in Russian).
9. **Tkalich S. A.** Analiz kriticheskikh parametrov avariynyh situacij tehnologicheskikh processov. *Jeletrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija*. 2011, no. 2, pp. 69-71 (in Russian).
10. **Tkalich S. A.** Algoritm rascheta integral'nogo kriterija bezavarijnogo upravlenija. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii*, no. 1.1 (43), 2011, pp. 176-179.
11. **Paluhin P. N., Poddubnyj V. V.** Tehnologija ispol'zovaniya MATLAB-programm v sredah vizual'nogo programmirovaniya C/C++. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2003, no. 280, pp. 309-318 (in Russian).
12. **Galimjanov F. A., Gafarov F. M., Emel'janova N. A.** Ispol'zovanie sredy MICROSOFT VISUAL STUDIO i jazyka programmirovaniya C++ dlja modelirovaniya dinamiki obrazovaniya nejronnoj seti. *Vestnik Tehnologičeskogo universiteta*. 2015, vol. 18, no. 17, pp. 197-202 (in Russian).
13. **Potapov D. A.** Dinamicheskaja integracija funkcij MATLAB v komp'juternye sistemy modelirovaniya, realizovannye na jazyke JAVA. *Informatika i sistemy upravlenija*. 2012, no. 2 (32), pp. 64-74 (in Russian).
14. **Avdeenko T. V., Zabuga A. A.** Metod realizacii integrirovannoj programmnoj sistemy dlja issledovaniya matematicheskikh modelej s ispol'zovaniem simvol'nyh vychislenij na baze MATLAB. *Nauchnyj vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2008, no. 2 (31), pp. 39-57 (in Russian).
15. **Dzhonson B., Skibo K., Jang M.** *Osnovy MICROSOFT VISUAL STUDIO.NET 2003*. Brajan Dzhonson, Krjegg Skibo, Mark Jang; [Per. s angl. A. G. Korolev, K.A. Men'shov]. Moskva, 2003 (in Russian).
16. **Nguyen Z. T., Sosinskaja S. S.** Tehnologija sozdaniya prilozhenij na jazyke S++, ispol'zujushchih biblioteku funkcij MATLAB. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2013, no. 2 (38), pp. 137-141 (in Russian).
17. **Evstropov V. A.** Issledovanie vozmozhnosti sozdaniya modulja vizualizacii i ego podkljuchenija k baze programmnoj sredy MATLAB. *Vestnik Hkasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. F. Katanova*. 2012, no. 1, pp. 30-33 (in Russian).
18. **Shalina O. N., Frolova M. A.** Osobennosti razrabotki vizual'nyh prilozhenij v integrirovannoj srede razrabotki MICROSOFT VISUAL STUDIO. *Informacionnye tehnologii. Radioelektronika. Telekomunikacii*. 2016, no. 6-2, pp. 340-348 (in Russian).
19. **Tomaev M. H., Panarin V. E.** Modeli, tehnologii i sredstva optimizacii programmno koda, proektiruemogo v srede MICROSOFT VISUAL STUDIO. *Trudy SKGMI (GTU)*. 2011, no. 18, pp. 67-73 (in Russian).
20. **Kulikova N. V.** Sozdanie massivov so sluchajnymi jelementami v srede MATLAB. *Sovremennye informacionnye tehnologii*. 2009, no. 10, pp. 167-168 (in Russian).