

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

В статье решена задача разработки Unified Modeling Language-моделей вариантов использования, классов, деятельности, состояния и последовательности взаимодействия компонентов для диагностирования состояния изоляции трансформаторов тока. Цель работы заключается в повышении эффективности диагностирования и прогнозирования состояния основной изоляции трансформаторов тока с применением современных программных средств. Объект исследования – процесс диагностирования состояния основной изоляции трансформаторов тока. Предметом исследования являются нейросетевые модели, при помощи которых выполняется прогнозирование состояния основной изоляции. Новизна работы заключается в том, что разработанные информационные модели позволяют реализовать нейросетевые модели диагностирования и прогнозирования состояния основной изоляции трансформаторов тока независимо от выбранного языка программирования. Выполнены эксперименты, подтверждающие адекватность предложенных моделей. Практическая ценность работы заключается в том, что при помощи предложенных UML-моделей разработано программное обеспечение, которое позволяет диагностировать и прогнозировать состояние основной изоляции трансформаторов тока.

Ключевые слова: UML, диагностирование, прогнозирование, изоляция, трансформатор тока.

НОМЕНКЛАТУРА

x_1 – тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции под рабочим напряжением;

x_2 – отклонение емкости основной изоляции от паспортного значения;

x_3 – влажность воздуха окружающей среды;

x_4 – температура воздуха окружающей среды;

x_5 – интенсивность частичных разрядов;

Y – состояние изоляции трансформатора тока.

ВВЕДЕНИЕ

Для выявления тенденций к неисправностям, возникающим в электрических аппаратах, и их своевременного устранения широко применяется метод математического моделирования [1–3]. В модель подставляются входные характеристики, а на выходе получаем результат в диапазоне от нуля до единицы, свидетельствующий о вероятности безотказной работы. В частности, математические модели успешно используются для диагностирования состояния изоляции трансформаторов тока [4, 5]. Применение таких моделей существенно продлевает срок службы изделий, потому что позволяет превентивно вывести изделие в резерв для осуществления ремонта.

Работа с такими математическими моделями на практике затруднена ограничениями их программной имплементации, например, спецификой конкретного языка программирования, примененного для реализации той или иной модели. Кроме того, реализация математической модели на конкретном языке накладывает ограничения на аппаратную платформу, на которой она будет выполняться. Поэтому актуально и важно разработать информационные модели диагностирования и прогнозирования состояния изоляции трансформаторов тока с применением аппарата UML-моделирования [6], что позволит реализовать эти модели на любом языке программирования под любую аппаратную и программную платформу.

Целью данной работы является повышение эффективности диагностирования и прогнозирования состояния основной изоляции трансформаторов тока с применением современных программных средств.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для практического применения нейросетевых моделей (1) и (2) диагностирования и прогнозирования состояния основной изоляции трансформаторов тока необходима их программная реализация. Однако, выбор любого отдельно взятого языка программирования налагает определенные ограничения на такую реализацию. Поэтому в данной работе ставится задача разработать информационные UML-моделей, позволяющие на концептуальном уровне описать варианты использования, классы, деятельность, состояния и последовательность взаимодействия компонентов, в результате чего можно будет программно реализовать модели (1) и (2) без привязки к конкретному языку программирования и без ограничений в аппаратной платформе.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Рассмотрим математические модели диагностирования и прогнозирования состояния изоляции трансформаторов тока, предложенные в работах [4, 5]. В работе [4] найдена нелинейная зависимость между параметрами основной изоляции: тангенсом угла диэлектрических потерь основной изоляции под рабочим напряжением, отклонением емкости основной изоляции от паспортного значения, влажностью и температурой воздуха окружающей среды. Модель позволяет диагностировать состояние изоляции трансформатора тока (Y), которое может быть строго «0», означающим высокую вероятность отказа или строго «1», свидетельствующим о высокой вероятности безотказной работы:

$$\left\{ \begin{aligned} Y_{NN} &= \Psi_{(3,1)} = \left(1 + e^{-(-547,979+772,39\Psi_{(2,1)}+659,629\Psi_{(2,2)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(2,1)} &= \left(1 + e^{-(-1,145-8,493\Psi_{(1,1)}-529,631\Psi_{(1,2)}+9,555\Psi_{(1,3)}-8,287\Psi_{(1,4)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(2,2)} &= \left(1 + e^{-(-1,095+69,829\Psi_{(1,1)}+11,735\Psi_{(1,2)}-69,994\Psi_{(1,3)}+69,967\Psi_{(1,4)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,1)} &= \left(1 + e^{-(-30,161-1,76x_1-99,142x_2+7,413x_3+13,707x_4)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,2)} &= \left(1 + e^{-(-36,203+7,8x_1+0,667x_2+0,852x_3+39,674x_4)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,3)} &= \left(1 + e^{-(-168,607+59,402x_1-227,376x_2-81,146x_3-10,997x_4)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,4)} &= \left(1 + e^{-(-30,194-46,056x_1+44,165x_2-15,499x_3-35,356x_4)} \right)^{-1}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Работа [5] посвящена прогнозированию состояния изоляции трансформаторов тока. Она связывает в нелинейную зависимость тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции под рабочим напряжением, отклонение емкости основной изоляции от паспортного значения, влажность и температуру воздуха окружающей среды, интенсивность частичных разрядов. Эта модель позволяет спрогнозировать состояние изоляции трансформатора тока в диапазоне от «0», означающего достоверный отказ, до «1», достоверно свидетельствующей о безотказной работе:

$$\left\{ \begin{aligned} Y_{NN} &= \Psi_{(3,1)} = \left(1 + e^{-(-7,4784+2,9078\Psi_{(2,1)}+0,404\Psi_{(2,2)}+5,0228\Psi_{(2,3)}+5,3002\Psi_{(2,4)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(2,1)} &= \left(1 + e^{-(-6,1359-2,5979\Psi_{(1,1)}+2,7649\Psi_{(1,2)}-3,3634\Psi_{(1,3)}+4,7321\Psi_{(1,4)}+0,2641\Psi_{(1,5)}-0,1888\Psi_{(1,6)}-5,3388\Psi_{(1,7)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(2,2)} &= \left(1 + e^{-(-1,0461-1,7837\Psi_{(1,1)}+4,4856\Psi_{(1,2)}+2,7141\Psi_{(1,3)}-2,6650\Psi_{(1,4)}+2,8964\Psi_{(1,5)}-1,2898\Psi_{(1,6)}+1,7281\Psi_{(1,7)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(2,3)} &= \left(1 + e^{-(-3,882-2,0637\Psi_{(1,1)}-1,0753\Psi_{(1,2)}+2,4708\Psi_{(1,3)}+1,8698\Psi_{(1,4)}+4,9156\Psi_{(1,5)}+3,5897\Psi_{(1,6)}+3,6233\Psi_{(1,7)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(2,4)} &= \left(1 + e^{-(-0,8951-0,0594\Psi_{(1,1)}+2,9819\Psi_{(1,2)}-2,3583\Psi_{(1,3)}-0,8607\Psi_{(1,4)}+5,0139\Psi_{(1,5)}-1,5493\Psi_{(1,6)}-1,7566\Psi_{(1,7)})} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,1)} &= \left(1 + e^{-(-10,3266+0,6509x_1-0,6431x_2+2,0358x_3+1,7211x_4+7,0363x_5)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,2)} &= \left(1 + e^{-(-1,4743+1,8947x_1+7,1942x_2-3,2972x_3-0,5464x_4+4,7834x_5)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,3)} &= \left(1 + e^{-(-0,6412-5,9152x_1+3,1312x_2-2,4422x_3+3,5875x_4+6,2612x_5)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,4)} &= \left(1 + e^{-(-5,3739-1,2143x_1-4,6796x_2-4,9762x_3-11,5101x_4+0,4317x_5)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,5)} &= \left(1 + e^{-(-1,3765-6,3586x_1-10,9655x_2-1,7367x_3-5,8159x_4-3,6925x_5)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,6)} &= \left(1 + e^{-(-2,6918-0,8681x_1+6,4870x_2-4,7637x_3-2,4065x_4-1,6228x_5)} \right)^{-1}; \\ \Psi_{(1,7)} &= \left(1 + e^{-(-1,5774+1,4648x_1-4,3641x_2+0,6580x_3+8,5722x_4+0,8051x_5)} \right)^{-1}. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Диаграмма вариантов использования (рис. 1) позволяет ограничить круг задач, решаемых при помощи реализуемых моделей. Пользователь должен иметь возможность взаимодействовать с интерфейсом моделей: вводить основные параметры изоляции и получать заключение о вероятности безотказной работы, если речь идет о модели (1), или прогноз по такой вероятности (2). При этом до расчетов по формулам (1) и (2) должна выполняться проверка корректности введенных параметров.

Диаграмма классов описывает объекты, необходимые для программной реализации математических моделей независимо от конкретного языка программирования. Основными классами для рассматриваемых моделей являются «Insulation», описывающий параметры изоляции, «Diagnostics», содержащий метод диагностирования или прогнозирования состояния изоляции, и

«View», описывающий графический интерфейс пользователя (рис. 2). Класс «Diagnostics» агрегирует экземпляр класса «Insulation», потому что использует параметры изоляции в методе диагностирования. Метод «returnState» выполняет диагностирование или прогнозирование вероятности безотказной работы изоляции трансформатора тока по формулам (1) или (2).

Диаграмма деятельности позволяет описать на концептуальном уровне алгоритм деятельности реализации рассматриваемых моделей (рис. 3). После ввода параметров изоляции в интерфейс программы, необходимо выполнить их нормирование к шкале от нуля до единицы, поскольку модели (1) и (2) учитывают уже нормированные параметры. Далее выполняется передача параметров в модель, при этом выполняется инициализация объектов классов «Insulation» и «Diagnostics» (см. рис. 2). Затем при помощи методов класса «Diagnostics» осу-

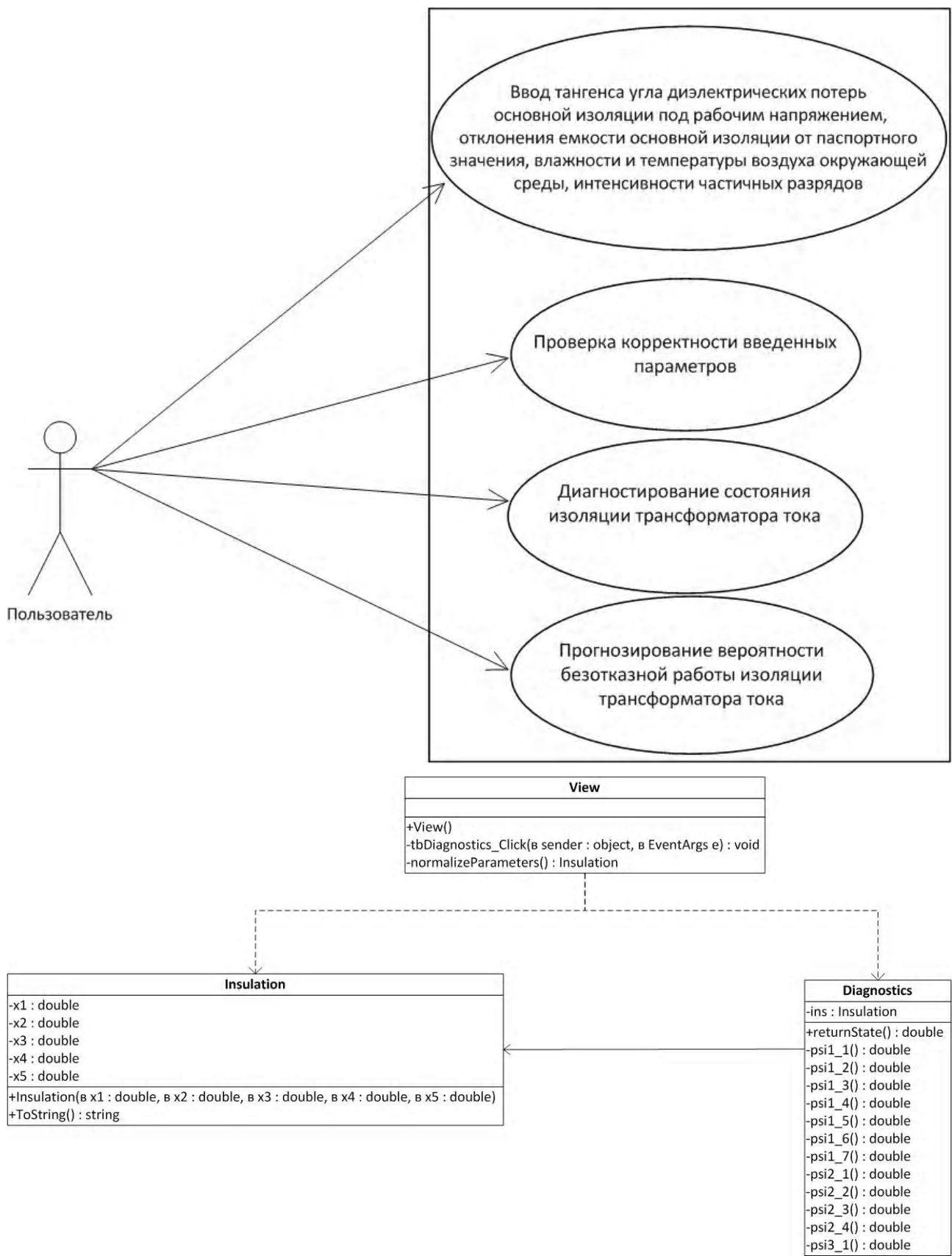


Рисунок 2 – Диаграмма классов, необходимых для реализации рассматриваемых моделей

ществляется расчет каждого слоя модели при помощи функции активации и весовых коэффициентов по формулам (1) и (2). Далее формируется прогноз относитель-

но вероятности безотказной работы изоляции трансформатора тока. Вывод в интерфейс осуществляется при помощи методов класса «View».

Диаграмма состояний позволяет описать состояния, в которых может находиться программа в процессе имплементации модели (рис. 4). В состоянии «Создание графического интерфейса» программа вызывает конструктор класса «View» (см. рис. 2), который строит интерфейс системы. Затем выполняется ожидание ввода параметров изоляции. Если параметры находятся в рабо-

чем диапазоне, по которому были построены модели (1) и (2), программа нормирует параметры в конструкторе класса «Insulation» и переходит к расчету первого слоя модели: создается объект класса «Diagnostics», в котором вызываются соответствующие методы. При корректном расчете первого слоя, выполняется расчет второго, а затем и третьего слоев. После формирования ре-

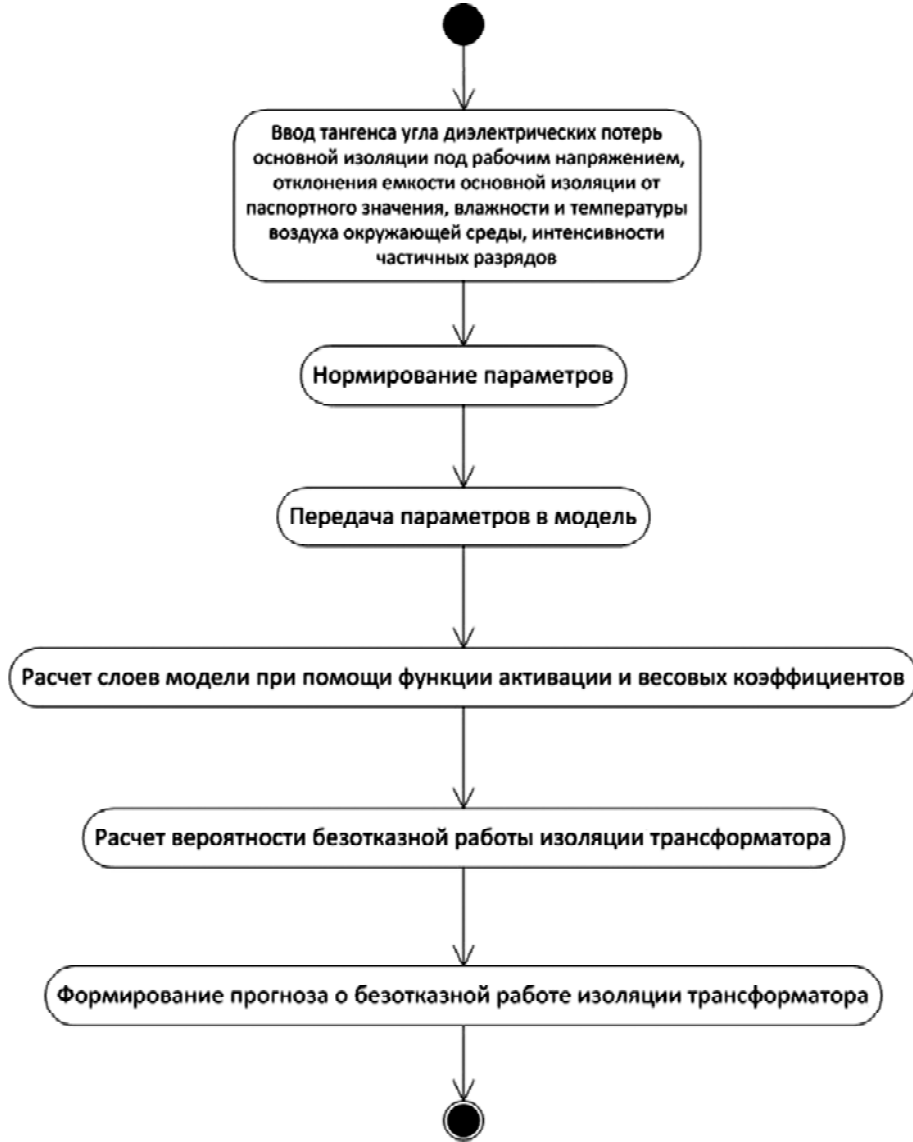


Рисунок 3 – Диаграмма деятельности реализации рассматриваемых моделей



Рисунок 4 – Диаграмма состояний рассматриваемых моделей

зультата перевіряється його коректність (приналежність діапазону ймовірності від нуля до одиниці) і при допоміжності об'єкта класу «View», програма переходить в стані відображення результатів прогнозування на дисплей.

Діаграма послідовності описує послідовність взаємодії компонентів програми, реалізуючої розглядавану модель (рис. 5). Клас «View» ініціалізує роботу програми. Після введення параметрів і їх нормування, створюється екземпляр класу «Insulation», в конструктор якого передаються нормовані параметри. Екземпляр «Insulation» передається в клас «Diagnostics», в якому виконується основний розрахунок моделей (1) і (2) за запитом, надісланому від класу «View». Результат повертається в клас «View» для відображення на екран. На діаграмі крестикі означають завершення життєвого циклу об'єкта відповідного класу. При цьому екземпляр класу «View» не знищується до тих пір, поки програма існує в пам'яті, що дозволяє користувачеві за один сеанс роботи виконати неодноразове прогнозування стану ізоляції трансформатора струму з різними входними параметрами.

События в моделі відбуваються синхронно, тобто, поки не повернуто управління з методу одного класу, метод іншого класу не може отримати управління. Наприклад, неможливо розрахувати другий шар моделі, поки не отримані значення всіх функцій активності з першого шару.

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

На основі запропонованих інформаційних моделей можна виконати програмну реалізацію діагностування і прогнозування стану ізоляції трансформаторів струму на будь-якому мові програмування. В даній роботі використано мову C# Windows Forms. Для виконання експериментального дослідження роз-

роботаного програмного забезпечення використано комп'ютерна система Запорізького національного технічного університету: процесори Intel E3200, оперативна пам'ять 1 Гб DDR-2 на кожен вузол, комунікаційна середовище Gigabit Ethernet 1 Гб/с.

5 РЕЗУЛЬТАТИ

Головне вікно програми, реалізуючої модель діагностування основної ізоляції трансформаторів струму на основі моделі (1), наведено на рис. 6. Аналогічним чином була реалізована модель (2) прогнозування стану ізоляції трансформатора струму. Інтерфейс програми показано на рис. 7.

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Тестова вибірка для експериментальної перевірки розробленого програмного забезпечення на основі запропонованих інформаційних моделей складалася з результатів тридцяти восьми експериментів і включала екземпляри ізоляції трансформаторів струму, не входять в навчальну для моделей (1) і (2) вибірку. Так було забезпечено діагностування і прогнозування стану ізоляції, а не просто розпізнавання по навчальній вибірці.

В розроблене програмне забезпечення були введені характеристики ізоляції трансформатора струму. В результаті в режимі діагностування були отримані значення «0» або «1», а в режимі прогнозування – від «0» до «1». Результат можна трактувати як ймовірність безотказної роботи основної ізоляції трансформатора струму при заданих її характеристиках.

Отримані результати були порівняні з результатами в тестовій вибірці. При цьому середньквадратична помилка склала $63,12 \times 10^{-5}$, що є прийнятним значенням, свідченням про можливість застосування запропонованих інформаційних моделей і програмного забезпечення на практиці.

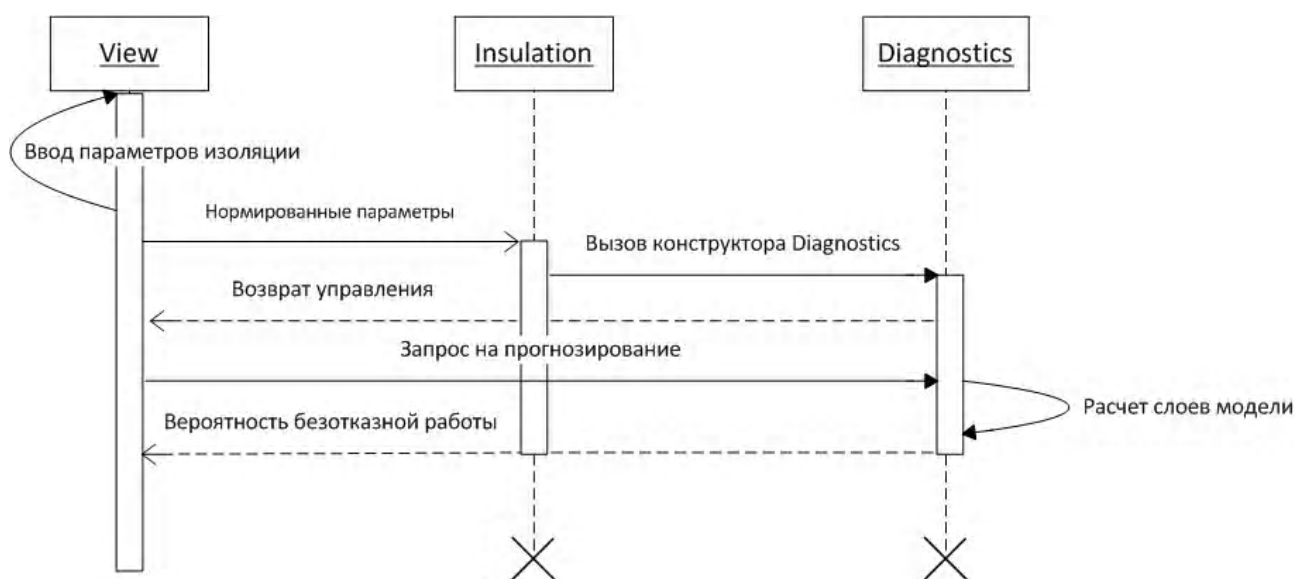


Рисунок 5 – Діаграма послідовності взаємодії компонентів моделей

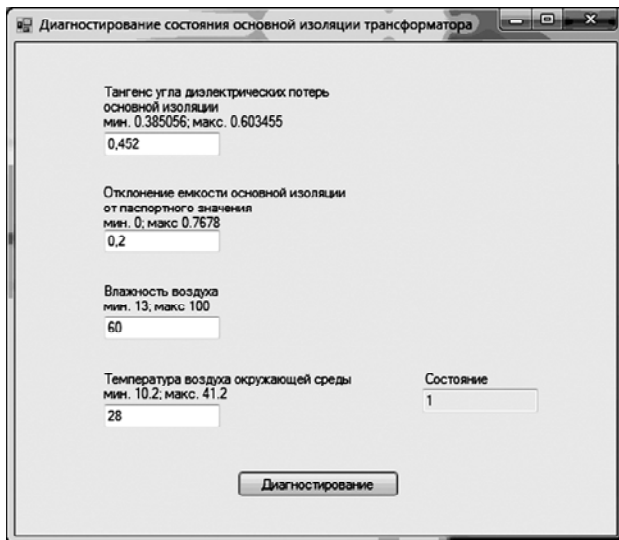


Рисунок 6 – Приложение для диагностирования основной изоляции трансформатора тока на основе модели (1)

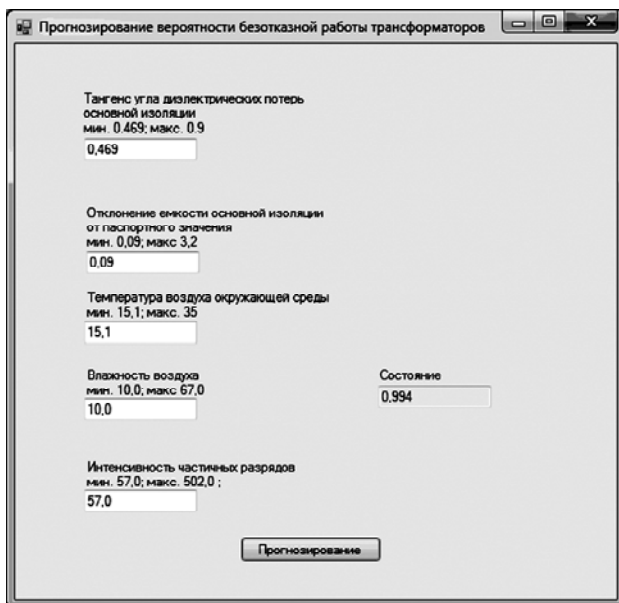


Рисунок 7 – Приложение для диагностирования основной изоляции трансформатора тока на основе модели (2)

ВЫВОДЫ

В работе решена актуальная задача разработки информационных UML-моделей, позволяющих на концептуальном уровне описать варианты использования, классы, деятельность, состояния и последовательность взаимодействий компонентов. Научная новизна работы заключается в том, что разработаны UML-модели, позволяющие программно реализовать модели диагностирования (1) и прогнозирования (2) состояния основной изоляции трансформаторов тока без привязки к конкретному языку программирования и без ограничений в аппаратной платформе. Практическая ценность работы: при помощи предложенных UML-моделей разработано программное обеспечение, реализующее диагностирование и прогнозирование состояния изоляции трансформаторов тока.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выборка для проведения экспериментального исследования предложенных информационных моделей представлена компанией «Энергоавтоматизация» (г. Запорожье).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гук Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике : учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Гук. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
2. Фокин Ю. А. Оценка надежности систем энергоснабжения / Ю. А. Фокин, В. А. Туфанов. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 224 с.
3. Banjevic D. Remaining useful life in condition based maintenance: Is it useful?: Modelling in Industrial Maintenance and Reliability : 6th IMA International Conference MIMAR2007, 10–11 Sept. 2007 : proceedings / D. Banjevic, A. K. S. Jardine. – Manchester, United Kingdom. – 2007. – P. 7–12.
4. Скрупская Л. С. Построение моделей диагностирования состояния бумажно-масляной изоляции измерительных трансформаторов тока / Л. С. Скрупская, А. А. Олейник, А. А. Сахно // Электротехника і електромеханіка. – 2014. – № 2. – С. 48–51.
5. Скрупская Л. С. Модель прогнозирования на основе интенсивности частичных разрядов вероятности безотказной работы бумажно-масляной изоляции измерительных трансформаторов тока / Л. С. Скрупская, М. А. Поляков // Вісник Кременчугського національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – № 2 (91). – С. 9–14
6. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования : 3-е изд. / Л. Крэг. – Вильямс, 2013. – 736 с.

Статья поступила в редакцию 17.05.2016.

После доработки 30.05.2016.

Скрупська Л. С.

Старший викладач кафедри електричних та електронних апаратів, Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, Україна

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССУ ДИАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

Вирішено завдання розробки Unified Modeling Language-моделей варіантів використання, класів, діяльності, стану і послідовності взаємодії компонентів для діагностування стану ізоляції трансформаторів струму. Мета роботи полягає у підвищенні ефективності діагностування та прогнозування стану основної ізоляції трансформаторів струму з використанням сучасних програмних засобів. Об'єкт дослідження – процес діагностування стану основної ізоляції трансформаторів струму. Предметом дослідження є нейромережеві моделі, за допомогою яких виконується прогнозування стану основної ізоляції. Новизна роботи полягає у тому, що розроблені інформаційні моделі дозволяють реалізувати нейромережеві моделі діагностування та прогнозування стану основної ізоляції трансформаторів струму незалежно від обраної мови програмування. Виконано експерименти, що підтверджують адекватність запропонованих моделей. Практична цінність роботи полягає у тому, що за допомогою запропонованих UML-модлей розроблено програмне забезпечення, що дозволяє діагностувати та прогнозувати стан основної ізоляції трансформаторів струму.

Ключові слова: UML, діагностування, прогнозування, ізоляція, трансформатор струму.

Skrupskaya L. S.

Senior lecturer of Electric and Electronic Department, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

IMPLEMENTATION OF INFORMATION MODELS OF DIAGNOSING AND PREDICTION OF CURRENT TRANSFORMER INSULATION STATE

The article deals with the problem of the development of the Unified Modeling Language-models such as use cases, classes, activities, conditions and sequences of interaction of components to diagnose the state of current transformers insulation. The purpose of the work is to improve the efficiency of diagnosing and prediction of current transformers primary insulation state using modern software. The object of research is the process of diagnosing of current transformers primary insulation state. The subject of research is the neural network models, by which the prediction of the insulation state is performed. The novelty lies in the fact that the developed information models allow realizing the neural network models of diagnosing and prediction of current transformer insulation state independently of the selected programming language. Experiments confirming the adequacy of the proposed model have been executed. The practical value of the work consists in the fact that by using the proposed UML-models the software that allows diagnosing and prediction of current transformer insulation state is developed.

Keywords: UML, diagnosing, prediction, insulation, current transformer.

REFERENCES

1. Guk Yu. B. *Teoriya nadezhnosti v e'lektroe'nergetike: Ucheb. posobie dlya vuzov.* Leningrad, E'nergoatomizdat, 1990, 208 p.
2. Fokin Yu. A., Tufanov V. A. *Ocenka nadezhnosti sistem e'nergosnabzheniya.* Moscow, E'nergoatomizdat, 1981, 224 p.
3. Banjevic D., Jardine A. K. S. Remaining useful life in condition based maintenance: Is it useful?: Modelling in Industrial Maintenance and Reliability. Proceedings of MIMAR2007 : the 6th IMA International Conference, (10–11 Sept. 2007). Manchester, United Kingdom, 2007, pp. 7–12.
4. Skrupskaya L. S., Olejnik A. A., Saxno A. A. Postroenie modelej diagnostirovaniya sostoyaniya bumazhno-maslyanoj izolyacii izmeritel'nyx transformatorov toka, *Elektrotexnika i Elektromexanika*, 2014, No. 2, pp. 48–51.
5. Skrupskaya L. S., Polyakov M. A. Model' prognozirovaniya na osnove intensivnosti chastichnyx razryadov veroyatnosti bezotkaznoj raboty bumazhno-maslyanoj izolyacii izmeritel'nyx transformatorov toka, *Visnik Kremenchuc'kogo nacional'nogo universitetu imeni Mixajla Ostrograds'kogo*, 2015, No. 2 (91), pp. 9–14.
6. Larman Kre'g *Primenenie UML 2.0 i shablonov proektirovaniya.* 3-e izd. Vil'yams, 2013, 736 p.