

**Давиденко Н. В.**, к.т.н. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

## **UML-ПРОФІЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ КЛАСИФІКАТОРА ОБ'ЄКТІВ ЗА ГЕОМЕТРИЧНОЮ ФОРМОЮ ЇХ ЗОБРАЖЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МГУА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

Запропоновано опис прототипу інформаційної технології синтезу моделі класифікатора об'єктів за формою їх зображення, отриманого з системи технічного зору, що базується на застосуванні машинного навчання. Структура інформаційної технології об'єднує блок синтезу моделей-кандидатів та блок вибору кращої структури моделі класифікатора. Блок синтезу моделей реалізовано на засадах індуктивного моделювання із застосуванням алгоритмів методу групового урахування аргументів. Як алгоритм синтезу моделі класифікатора застосовано нейронні мережі МГУА. Для синтезу моделей-кандидатів використано програмну оболонку GMDH Shell. Вибір кращої структури моделі реалізовано на основі гіперпараметричної оптимізації та багатокритерійного вибору, що базується на аналізі результатів роботи моделей-кандидатів різної структури. Проектування інформаційної технології виконано з позицій об'єктно-орієнтованого програмування із застосуванням уніфікованої мови моделювання.

**Ключові слова:** модель класифікатора; МГУА нейронні мережі; уніфікована мова моделювання.

**Вступ.** В умовах цифровізації виробництва в рамках концепції індустрії 4.0 однією із складових управління виробництвом на засадах інтелектуального моніторингу технологічних процесів є системи технічного (машинного) зору, що забезпечують виявлення, автоматичний контроль і аналіз об'єктів за їхніми зображеннями для подальшої реалізації процесу управління. Побудова та впровадження інформаційних технологій (ІТ) розпізнавання та класифікації об'єктів за формою їх зображення є одним з інструментів вирішення завдань сучасних систем розумного управління технологічними процесами.

**Аналіз останніх досліджень.** Сучасні технології машинного зору реалізовані на основі технологій штучного інтелекту та методах ма-

шинного навчання (МН) [1]. Класифікація є одним із популярних завдань МН [2]. Популярність застосування для вирішення завдань класифікації об'єктів методів на основі МН зумовлена розвитком засад інтелектуального аналізу даних та продуктивних апаратних платформ для його реалізації [3]. Реалізація процесу класифікації об'єктів передбачає виконання низки етапів. Складовою успішної реалізації завдань класифікації об'єктів за їх зображенням є обробка та перетворення інформації алгоритмами синтезу моделей (АСМ) класифікатора [4]. Синтез моделей класифікаторів виконується за допомогою різних методів та алгоритмів, зокрема, індуктивних алгоритмів, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, машин опорних векторів та інших [5]. Слід зазначити, що працездатність алгоритмів МН залежить від вибору параметрів АСМ та обраної структури моделі класифікатора. При цьому одним із завдань є забезпечення інформативності множини вхідних даних (МВД), достатньої для побудови адекватних моделей класифікатора із застосуванням обраного АСМ. Вибір відповідного АСМ класифікатора, налаштування алгоритму під конкретну задачу, пов'язану з вибором оптимального набору параметрів алгоритму, мають істотний вплив на результативність процесу класифікації. У випадках, коли відсутня або майже відсутня апріорна інформація про структуру моделі і розподіл її параметрів, а також недостатнього об'єму вихідних даних доцільним є застосування методів побудови моделей здатних до самоорганізації [5]. Принцип самоорганізації моделей ґрунтується на індуктивному підході моделювання складних систем, що передбачає синтез моделі шляхом перебору багатьох моделей-кандидатів за вибраними зовнішніми критеріями селекції моделей [6]. Такий підхід потребує обробки відповідної ІТ для автоматизації процесу синтезу моделі класифікатора на основі порівняння результатів роботи АСМ.

**Постановка завдання.** Метою роботи є формування та опис з позицій об'єктно-орієнтованого підходу профілю прототипу ІТ синтезу моделі класифікатора об'єктів за геометричною формою їх зображення, отриманого з системи технічного зору, що базується на застосуванні МН та забезпечує вибір кращої структури моделі на основі гіперпараметричної оптимізації та багатокритерійного вибору.

**Виклад основного матеріалу.** Задача класифікації вирішується на основі множини числових характеристик векторів ознак, що утворює МВД [4]. Реалізація процесу класифікації об'єктів із застосуванням методів МН передбачає вирішення завдання вибору моделі класифікатора (гіперпараметричної оптимізації), яке полягає у пошу-

ку набору гіперпараметрів алгоритму навчання, при яких досягається найбільша ефективність роботи алгоритму.

Ефективним методом індуктивного моделювання складних систем за експериментальними даними в умовах невизначеності є метод групового урахування аргументів (МГУА). Застосування алгоритмів МГУА дає змогу автоматично здійснити структурно-параметричну ідентифікацію моделі класифікатора. Проте, вибір оптимальної структури виконується лише в заданому класі функцій, тобто, попередньо необхідно задати клас функцій, в якому слід шукати оптимальну структуру моделі класифікатора, вибрати АСМ та стратегії її перевірки. Сценарій вибору кращої моделі класифікатора повинен бути реалізований шляхом послідовного випробування результатів роботи АСМ та вибору кращого [7].

Реалізація ІТ побудови моделі класифікатора об'єктів за формою їх зображення вимагає вирішення низки задач: 1) формування МВД на основі опису геометричної форми зображення об'єкту; 3) синтез моделей-кандидатів класифікатора; 4) формування бази модельних знань, що містить множину моделей-кандидатів класифікаторів; 5) випробовування моделей-кандидатів класифікатора та аналіз результатів їх роботи; 6) вибір кращої структури моделі класифікатора.

Як блок синтезу моделей (БСМ) класифікатора використано програмну оболонку GMDH Shell DS 3.8.8 [8]. БСМ GMDH Shell містить базові алгоритми МГУА [8], алгоритми МГУА-подібних нейронних мереж (НМ), гібридні алгоритми тощо. БСМ МГУА забезпечує структурно-параметричний вибір моделі класифікатора за результатами послідовного випробування кожного з АСМ на основі оцінки якості отриманої моделі-класифікатора за критерієм регулярності на екзаменаційній послідовності точок спостереження з урахуванням властивостей МВД [4]. Як АСМ класифікатора застосовується алгоритм МГУА НМ, основою яких є ітераційні алгоритми МГУА. МВД сформована набором морфометричних параметрів, що описують геометричну форму зображення об'єкту. МВД поділяється на три підмножини: набір навчальних даних, набір контрольних даних і набір тестових даних. Модель GMDH перехресно перевіряє себе для запобігання переналадження і підтримує модель регуляризації. Для перевірки моделі застосовуються різні стратегії перехресної перевірки. Для оцінки якості класифікації використовуються метрики [8]: точність, повнота, метрика Ван Різбергена (F-міра). Точність і повнота не залежать від співвідношення розмірів класів і коректно відображають

якість роботи алгоритму. Вибір кращої структури моделі здійснюється на основі багатокритерійного аналізу результатів роботи кожної з моделей-кандидатів.

Для моделювання прототипу інформаційної технології побудови моделі класифікатора застосовано графічні нотації уніфікованої мови моделювання (Unified Modeling Language – UML), що дозволяє здійснювати візуальне проектування, документування та формальний опис програмних систем (ПС). UML має прямий зв'язок з об'єктно-орієнтованим аналізом і проектуванням і стала стандартом OMG (Object Management Group) для моделювання ПС [9]. Широкі можливості та переваги цієї мови, такі як висока виразність, декларативність, багатство конструкцій тощо, використовують більшість технологій об'єктно-орієнтованої розробки. UML використовує графічні позначення для створення абстрактного UML-профілю (моделі) ПС. UML реалізує об'єктно-орієнтовану модель і використовує переважно діаграми для вираження об'єктно-орієнтованого аналізу та розробки ПС. Моделювання UML описує структуру та поведінку ПС за допомогою графічних зв'язків. Інструменти UML можна використовувати з будь-якою процедурою/методологією розробки програмного продукту ІТ, на будь-якій стадії розробки та не залежно від платформи та мови програмування [10].

Розробку UML-моделі виконано за допомогою програмного забезпечення StarUML, версія 4.1.6. Опис структури ІТ побудови моделі класифікатора об'єктів виконано за допомогою діаграми класів (рис. 1), яка є найбільш популярним засобом UML на етапі проектування ПС. Діаграма класів відображає основні методи та інтерфейси взаємодії обчислювальних модулів.

Клас **GMDH Client** – відповідає за зв'язок з BCM GMDH Shell.

Клас **ResponseResolver** – об'єкт цього класу отримує в «сиру» (raw) відповідь, що отримано за допомогою **GMDH Client**.

Клас **Manager** відповідає за виклик найкращої моделі. *ManagerStateRepository* – репозиторій стану об'єкту класу **Manager**.

Клас **Synchronizer** відповідає за процес синхронізації та агрегує об'єкти класів *ResponseResolver*, *GMDH Client* та об'єкти, що реалізують інтерфейси *ParametersRepository*, *ModelTypeRepository*, *VerificationResultRepository*, *ModelDescriptionRepository*; запускає GMDH Shell з даними, які надає *ParametersRepository*, та параметрами моделі, які надає *ModelTypeRepository*.

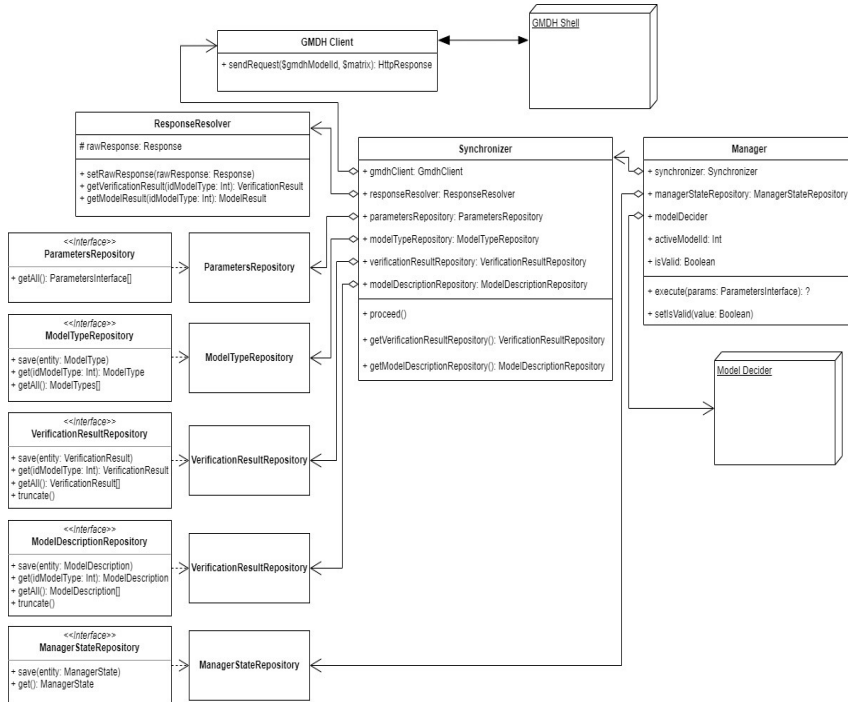


Рис. 1. Діаграма класів ІТ в нотації UML

Синхронізатор отримує дані за допомогою репозиторіїв, які імплементують відповідні інтерфейси. Репозиторії реалізують механізм інкапсуляції різних типів даних. Класи, що імплементують інтерфейси репозиторіїв, відповідають за збереження, постачання та операції з таблицями відповідних сутностей. Опис структури даних класів представлено на рис. 2.

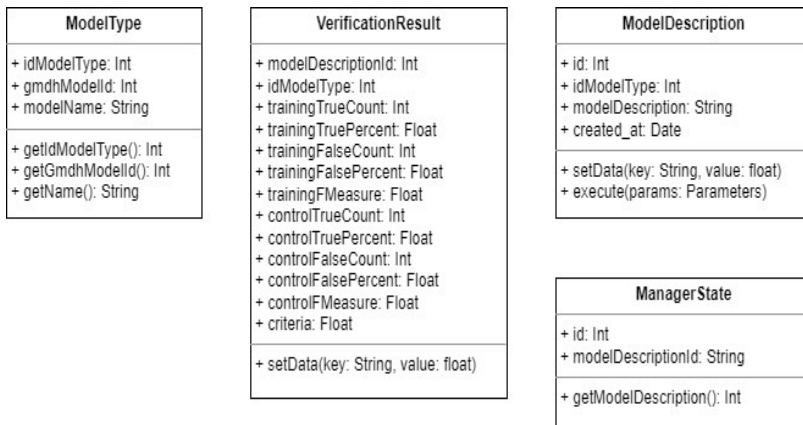


Рис. 2. Опис структури класів даних ІТ

Синхронізатор оброблює результат за допомогою *ResponseResolver* та отримує верифікаційні дані та опис моделі. Ці дані зберігаються за допомогою відповідних репозиторіїв.

Алгоритм роботи синхронізатора (рис. 3) забезпечує формування набору моделей-кандидатів класифікатора, отриманих з БСМ GMDH Shell, які є кращими в обраному класі моделей.

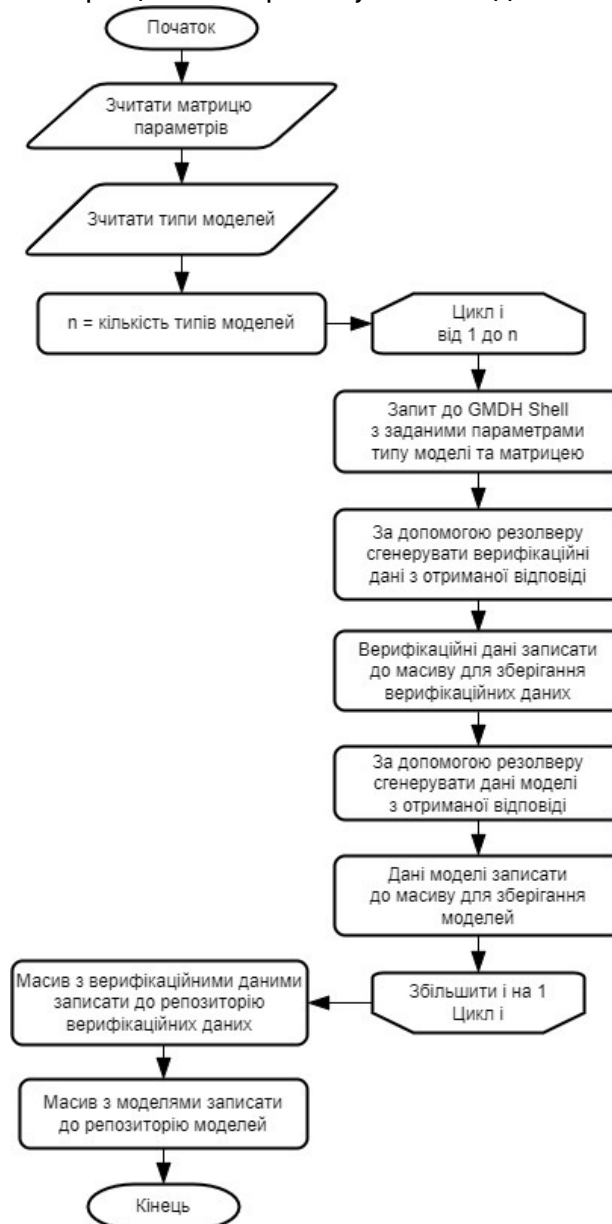


Рис. 3. Алгоритм роботи класу **Synchronizer**

Робота класу **Manager** має на меті вибір кращої структури моделі класифікатора. Якщо поле `isValid` має значення `false` (рис. 4) – запускається процес синхронізації, по завершенню якого буде отримано кращу модель і записано її ідентифікатор за допомогою репозиторію стану.

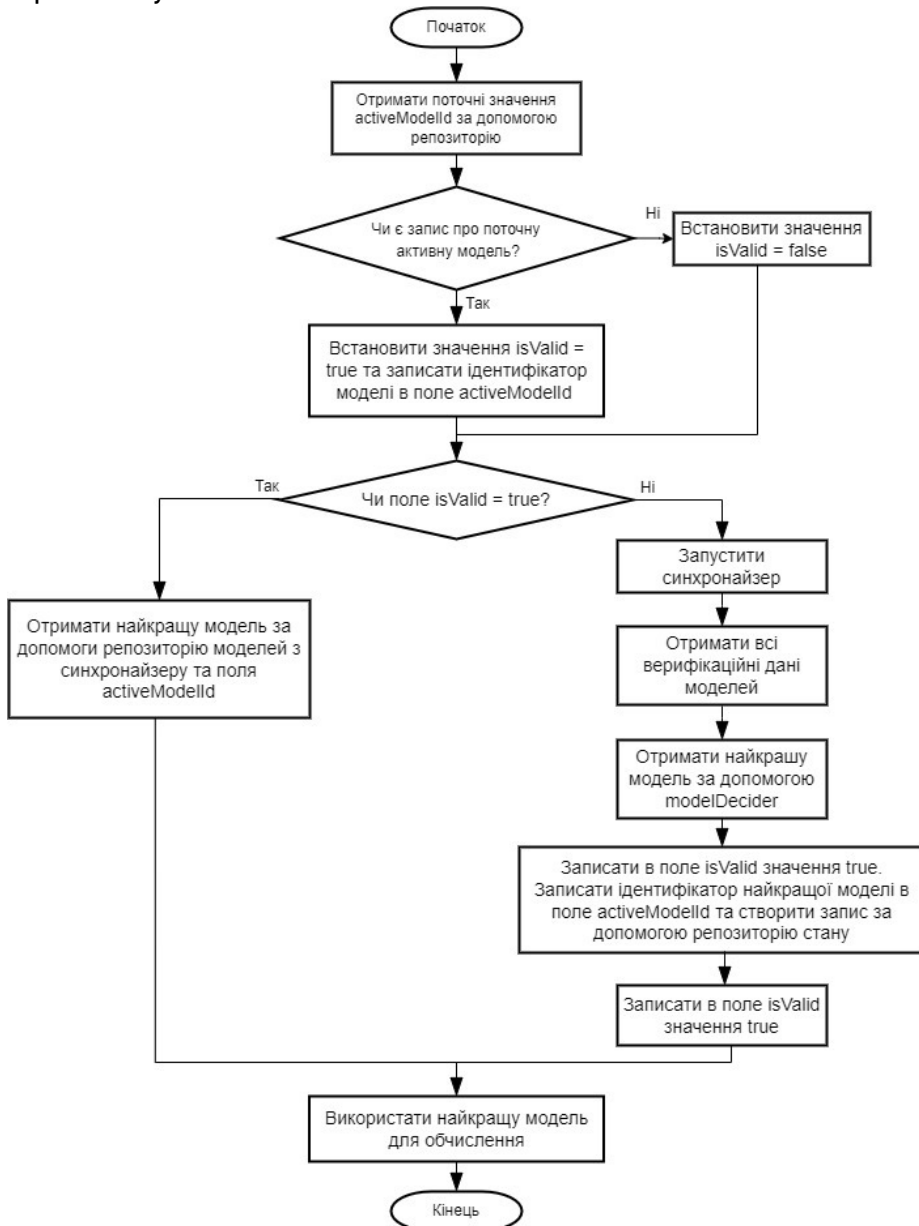


Рис. 4. Алгоритм роботи класу **Manager**

**Висновок.** Запропонована методологія синтезу моделі класифікатора об'єктів за геометричної формою їх зображення базується на поєднанні методології МН, що забезпечує пошук набору гіперпараметрів моделі на основі відповідного алгоритму навчання, та технології багатокритерійного вибору кращої структури моделі класифікатора, що базується на аналізі результатів роботи кожної моделі з набору моделей-кандидатів. Проектування ІТ синтезу моделі класифікатора із застосуванням методології UML забезпечує моделювання структури та поведінки ПС та візуалізацію процесу розробки прототипу ІТ. Застосування запропонованої ІТ забезпечує автоматизацію процесу вибору кращої структури моделі класифікатора об'єктів.

1. Подскребко О. С., Квашук Д. М., Берідзе-Стаховський А. К. Технології машинного навчання в промисловості з використанням методів розпізнавання образів. *Економіка та держава*. 2019. № 6. С. 46–49. 2. Забашта А. С., Фильченков А.А. Построения наборов данных для задачи бинарной классификации по их характеристическому описанию. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2017. № 3. Т. 17. С. 498–505. 3. Головка В. А., Голенков В. В., Ивашенко В. П., Таберко В. В., Иванюк Д. С., Крощенко А. А., Ковалёв М. В. Интеграция искусственных нейронных сетей с базами знаний. *Онтология проектирования*. 2018. № 3(29). Т. 8. С. 366–386. 4. Голуб С. В., Ушенко Ю. О., Ванчуляк О. Я., Талах М. В. Побудова моделей-класифікаторів за результатами багатовимірної поляризаційної мікроскопії в технології судово-медичного інтелектуального моніторингу хвороб серця. *Математичні машини і системи*. 2018. № 3. С. 48–59. 5. Гальченко В. Я., Трембовецька Р. В., Тичков В. В., Сторчак А. В. Методи створення метамodelей: стан питання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. № 4. С. 74–88. 6. Лур'є І. А., Осипенко В. В., Литвиненко В. І., Таиф М. А., Корніловська Н. В. Гібридизація алгоритму індуктивного кластер-аналізу з використанням оцінки щільності розподілу даних. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Сер. Інформаційні системи та мережі. 2015. № 832. С. 178–190. 7. Голуб С. В. Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища. Черкаси : ЧНУ, 2007. 218 с. 8. GMDH Shell. Forecasting Software for Professionals. URL: <http://www.gmdhshell.com>. (дата звернення: 17.03.2022). 9. Mohmed Salah R., Alves G. R., Guerreiro P., & Gustavsson I. Using UML Models to Describe the VISIR System. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 2016. № 12(06). Pp. 34–42. 10. Betari O., Filali S., Azzaoui A., Boubnad M. A. Applying a Model Driven Architecture Approach: Transforming CIM to PIM Using UML. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 2018. № 14(09). Pp. 170–181.



## REFERENCES:

1. Podskrebko O. S., Kvashuk D. M., Beridze-Stakhovskiy A. K. Tekhnologii mashynnoho navchannia v promyslovosti z vykorystanniam metodiv rozpi-znavannia obraziv. *Ekonomika ta derzhava*. 2019. № 6. S. 46–49.
2. Zabashta A. S., Filchenkov A. A. Postroeniya naborov danyih dlya zadachi binarnoy klassifikatsii po ih karakteristikeshkomu opisaniyu. *Nauchno-tehnicheskyy vestnik informatsionnyih tehnologiy, mehaniki i optiki*. 2017. № 3. T. 17. S. 498–505.
3. Golovko V. A., Golenkov V. V., Ivashenko V. P., Taberko V. V., Ivanyuk D. S., Kroschenko A. A., Kovalev M. V. Integratsiya iskusstvennyih neyronnyih setey s bazami znaniy. *Ontologiya proektirovaniya*. 2018. № 3(29). T. 8. C. 366–386.
4. Holub S. V., Ushenko Yu. O., Vanchuliak O. Ya., Talakh M. V. Pobudova modelei-klassifikatoriv za rezultatamy bahatovymirnoi poliaryzatsiinoi mikroskopii v tekhnologii sudovo-medychnoho intelektualnoho monitorynhu khvorob sertsia. *Matematychni mashyny i systemy*. 2018. № 3. S. 48–59.
5. Halchenko V. Ya., Trembovetska R. V., Tychkov V. V., Storchak A. V. Metody stvorennia metamodelei: stan pytannia. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. 2020. № 4. S. 74–88.
6. Lurie I. A., Osypenko V. V., Lytvynenko V. I., Tayf M. A., Kornilovska N. V. Hibrydyzatsiia alhorytmu induktyvnoho klaster-analizu z vykorystanniam otsinky shchilnosti rozpodilu danykh. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. Ser. *Informatsiini systemy ta merezhi*. 2015. № 832. S. 178–190.
7. Holub S. V. Bahatorivneve modeliuвання v tekhnologiiakh monitorynhu otouchuiuchoho seredovyscha. Cherkasy : ChNU, 2007. 218 s.
8. GMDH Shell. Forecasting Software for Professionals. URL: <http://www.gmdhshell.com>. (data zvernennia: 17.03.2022).
9. Mohamed Salah R., Alves G. R., Guerreiro P., & Gustavsson I. Using UML Models to Describe the VISIR System. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 2016. № 12(06). Pp. 34–42.
10. Betari O., Filali S., Azzaoui A., Boubnad M. A. Applying a Model Driven Architecture Approach: Transforming CIM to PIM Using UML. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 2018. № 14(09). Pp. 170–181.

---

**Davydenko N. V., Candidate of Engineering (Ph.D)** (Lutsk National Technical University, Lutsk)

### **UML PROFILE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTING A MODEL OF THE CLASSIFIER OF OBJECTS BASED ON THE GEOMETRIC SHAPE OF THEIR IMAGE WITH THE USE OF GMDH NEURAL NETWORKS**

**A description of the prototype of the information technology syn-**

thesis of the object classifier model based on the shape of their image obtained from the technical vision system was offered. The model synthesis process is based on the application of machine learning. The proposed information technology provides automation of the process of choosing better structure of the classifier model. The structure of information technology combines the block of synthesis of candidate models and the block of choosing better structure of the classifier model. The block of model synthesis was implemented based on the inductive modeling using the algorithms of the group method of data handling. GMDH neural networks were used as an algorithm for the synthesis of the classifier model. The GMDH Shell software was used for the synthesis of candidate models. The choice of better structure of the model was implemented in two stages. The first stage involves the formation of a set of candidate models. At this stage, the process of choosing better set of model parameters in each given class of functions was implemented. The second stage implements the process of multi-criteria selection, based on the analysis of the results of the work of candidate models of different structures. Information technology design was performed from the standpoint of object-oriented programming using a unified modeling language. The structure of information technology was represented by a class diagram, which contains a number of main components. The class *GMDH Client* is responsible for communicating with the GMDH Shell. The class *Manager* is responsible for calling better model. The class *Synchronizer* is responsible for the synchronization process and ensures the formation of a set of candidate models of the classifier that are the best in the selected class of models. Algorithms of the functioning of the *Synchronizer* and *Manager* classes were proposed.

**Keywords:** classifier model; GMDH neural networks; unified modeling language.

---