

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМАННЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ОСІБ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНІМИ ПОТРЕБАМИ

Ігор Чушак¹, Василь Андруник²

^{1,2} Національний університет «Львівська політехніка»,
кафедра інформаційних систем та мереж, Львів, Україна

¹ E-mail: ihor.m.chushchak@lpnu.ua, ORCID: 0009-0005-1112-971X

² E-mail: vasyl.a.andrunyk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0003-0697-7384

© Чушак І., Андруник В., 2025

У статті розглянуто підходи до розроблення та застосування інформаційних технологій для підтримання освітнього процесу осіб із особливими освітніми потребами. Запропоновано концептуальну модель, що об'єднує сучасні інформаційні та комунікаційні технології, методи штучного інтелекту, математичні моделі для персоналізації навчання та врахування індивідуальних особливостей учасників освітнього процесу. Розглянуто специфічні вимоги до інклюзивного середовища, зокрема врахування когнітивних, сенсорних та комунікаційних особливостей учнів. Проаналізовано наявні підходи до використання інформаційних та комунікаційних технологій, систем штучного інтелекту, математичного моделювання та адаптивних навчальних платформ. Проведено аналіз вітчизняних і зарубіжних досліджень у сфері інклюзивного навчання та впровадження цифрових рішень, а також визначено переваги інтеграції інтелектуальних систем у навчальні платформи. Наукова новизна полягає в тому, що уперше розроблено модель підтримання інклюзивного навчання, яка базується на математичному описі цього процесу й, на відміну від відомих рішень, передбачає комплексне використання інформаційних технологій на кожному етапі навчання, що дало змогу визначити структурні та функціональні вимоги до архітектури платформи й забезпечити ефективний інформаційний супровід інклюзивного освітнього середовища. Наведено практичні приклади застосування UML-діаграм і мереж Петрі для формалізації процесів і відображення взаємодії між ключовими учасниками навчання. Результати роботи можуть бути корисними для розробників освітніх систем та фахівців з інклюзії. Застосування описаних рішень дає змогу підвищити ефективність навчання, сприяти соціальній адаптації та розвитку потенціалу осіб із особливими освітніми потребами в сучасному інформаційному просторі.

Ключові слова – моделювання, інформаційні технології підтримання, інклюзивне навчання, особливі освітні потреби, штучний інтелект.

Постановка проблеми

Сучасні інформаційні та комунікаційні технології виступають рушійною силою глобальних трансформаційних процесів у соціокультурному просторі, зокрема в освітній сфері, яка перебуває у постійному процесі адаптації до викликів стрімкого технологічного розвитку. Одним із визначальних завдань нинішньої освітньої парадигми є створення інноваційних механізмів, спрямованих на забезпечення рівноправного доступу до навчального процесу для осіб із різноманітними формами функціональних обмежень. Використання цифрових технологій у цьому контексті закладає фундамент для розширеної інклюзії, формуючи адаптивне освітнє середовище, яке враховує специфічні когнітивні, сенсорні та комунікативні характеристики кожного учасника навчання. У сфері освіти осіб із особливими освітніми потребами ключовим аспектом є розроблення концептуальних моделей інформаційно-технологічних рішень, що не лише спрощують доступ до знань, але й виступають потужним інструментом для забезпечення ефективної соціальної адаптації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасне представлення моделювання як методологічного принципу та метод наукового пізнання відіграє значущу роль в розробленні структури, проектуванні та передбаченні кроків для прийняття рішень в різних критичних ситуаціях різного виду систем, в тому й числі для інформаційних технологій підтримання освітнього процесу для осіб з особливими освітніми потребами. Розвиток інформаційних технологій сприяє глибшому розумінню та ефективному вирішенню завдань, пов'язаних із підтримкою осіб із особливими освітніми потребами. Особливу увагу привертають моделі організації інклюзивної освіти, які акцентують на інтеграції таких учнів у загальний навчальний процес.

У дослідженні, проведеному науковцями Національного університету «Львівська політехніка», була розроблена формальна модель для інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання осіб з особливими освітніми потребами. Використання апарата породжувальних граматик дозволяє детально відобразити ключові властивості інклюзивного навчання, що включають етапи освітнього процесу, зокрема індивідуалізоване навчання та коригування освітніх траєкторій залежно від досягнутих результатів (V. Pasichnyk & T. Shestakevych, 2015). Моделювання, яке передбачає використання математичних абстракцій, таких як мережі Петрі, дозволяє наочно уявити паралельні процеси в складних освітніх системах. Цей підхід дає можливість врахувати численні критичні фактори, які необхідні для персоналізації навчання, виховання та соціальної адаптації осіб із особливими освітніми потребами.

Розроблена модель підтримки слугує фундаментом для формування інтегрованої системи інформаційно-технологічного підтримання, спрямованої на оптимізацію освітнього процесу та ефективну соціальну адаптацію осіб із особливими освітніми потребами (ООП) у рамках цифрового суспільства. Завдяки синергетичному поєднанню дидактичних компонентів, інформаційних та комунікаційних технологій відбувається підвищення рівня персоналізації навчального середовища, що сприяє його адаптації до специфічних когнітивних та сенсомоторних характеристик користувачів (V. Pasichnyk & T. Shestakevych, 2015).

Наукові дослідження, проведені фахівцями Національного університету «Львівська політехніка», зосереджуються на аналізі концептуальних підходів до адаптації освітнього процесу для учнів із ООП. У цих роботах визначено основоположні парадигми індивідуалізації навчальних стратегій, які включають використання адаптивних педагогічних методологій, інтеграцію ресурсних кімнат та застосування мультимодальних інтерактивних навчальних матеріалів. Запропоновані механізми забезпечують гнучку адаптацію освітнього простору відповідно до психофізіологічних особливостей здобувачів освіти, що корелюється з сучасними принципами інклюзивного навчання. З огляду на складну структурну організацію інклюзивного освітнього середовища, наукова спільнота розробила декілька типологій моделей інклюзивної освіти, які класифікуються за рівнем інтеграції осіб із ООП у загальноосвітній простір.

Основні критеріальні параметри включають ступінь інклюзії (повна, часткова або тимчасова), організаційно-управлінські механізми імплементації на макро- та мікрорівнях, а також нормативно-правові аспекти, що визначають освітню політику держави щодо інклюзії. В умовах українського освітнього простору ефективність інклюзивної освіти значною мірою залежить від реалізації багаторівневої моделі, що поєднує загальноосвітні школи, інклюзивні та спеціалізовані класи, а також індивідуальне навчання.

Така модель передбачає варіативність підходів до вибору освітньої траєкторії відповідно до специфічних потреб кожного учня, що узгоджується із засадничими принципами освітньої інтеграції та гнучкої персоналізації навчального процесу. Емпіричні дослідження підтверджують, що залучення дітей із порушеннями психофізичного розвитку до загальної освітньої системи сприяє формуванню їхніх комунікативних компетентностей, розвитку мовленнєвої активності та інтеграції у соціальне середовище.

Разом з тим, ефективність освітньої інклюзії вимагає розроблення комплексних критеріїв вибору відповідної моделі навчання, що враховує не лише когнітивно-психологічні характеристики здобувачів освіти, а й соціально-економічні детермінанти та особливості нормативно-правової бази державної освітньої політики (L. Kozibroda, 2020).

Працівниками навчально-виховного комплексу «Школа-гімназія» №12 м. Коростеня було розроблено інноваційні підходи до застосування штучного інтелекту в професійній орієнтації учнів із особливими освітніми потребами. У дослідженні підкреслюється, що ШІ дозволяє виявити сильні сторони учнів і пропонувати оптимальні напрямки розвитку.

Алгоритми аналізують здібності учнів, їхні інтереси та навчальні успіхи, створюючи рекомендації щодо вибору кар'єрного шляху. Цей підхід сприяє адаптації учнів до змінного ринку праці, дозволяючи їм знайти своє місце в суспільстві (Т. Balema & Н. Korsun, 2020).

Науковцями Волинського національного університету імені Лесі Українки було запропоновано трирівневу модель підтримки учнів із особливими освітніми потребами в інклюзивних класах, яка забезпечує системний підхід до їхнього навчання. Автори описують модель, яка забезпечує включення учнів з ООП у загальний освітній процес.

Модель передбачає три рівні підтримки:

1. **Перший рівень** - універсальний дизайн освітнього середовища, що орієнтований на гнучкість і диференціацію навчального процесу.
2. **Другий рівень** - адаптація освітніх програм і матеріалів, що дозволяє учням з особливими освітніми потребами освоїти необхідний контент.
3. **Третій рівень** - модифікація освітніх програм за допомогою спеціальних педагогів, що дає можливість повної інтеграції дітей у загальний клас.

Ця модель надає школярам із психофізичними порушеннями можливість отримувати якісну освіту, бути повноправними членами колективу та отримувати необхідну допомогу від спеціалістів для максимальної реалізації свого потенціалу (L. Kovrigina, 2021).

Формулювання цілі статті

У межах даного дослідження шляхом системного аналізу сучасних інформаційних технологій та передових методологій моделювання в галузі інклюзивної освіти здійснюється ідентифікація перспективних стратегій інтеграції таких технологічних рішень. Фокус дослідження зосереджено на характеристиках адаптивності освітніх платформ, імплементації алгоритмів штучного інтелекту для персоналізації навчального процесу, а також розробленні інтерфейсних архітектур, що відповідають критеріям доступності для користувачів із різними когнітивними та фізичними потребами. Додатково здійснюється комплексний аналіз технологічних і функціональних параметрів існуючих рішень з метою формування концептуальних засад нової інформаційної моделі.

Окремим напрямом дослідження є систематизація міжнародного досвіду впровадження інформаційних технологій у контексті інклюзивної освіти, що передбачає ідентифікацію високоефективних інноваційних підходів та адаптацію їх до національних умов із урахуванням специфіки соціально-економічного та технічного середовища. Аналіз включає оцінку масштабованості, інтероперабельності та кібербезпеки освітніх екосистем, орієнтованих на потреби осіб з обмеженими можливостями.

Очікуваним результатом дослідження є розроблення універсальної архітектурної моделі інформаційних технологій підтримання освітнього процесу, що забезпечуватиме динамічну адаптацію навчального контенту, мультиагентну персоналізацію навчальних траєкторій та інтеграцію розподілених сервісів для підвищення ефективності освітнього середовища.

Запропонована модель слугуватиме технологічним фундаментом для створення інтегрованих освітніх платформ, які сприятимуть розширенню доступності навчальних ресурсів, підвищенню інклюзивності освітнього процесу та оптимізації його відповідності індивідуальним освітнім запитам.

Мета дослідження полягає у створенні та верифікації моделі інформаційних технологій підтримання освітнього процесу для осіб із особливими освітніми потребами.

Об'єктом дослідження є освітній процес для людей із особливими освітніми потребами, підтриманий інноваційними інформаційними технологіями.

Предмет дослідження – методи та інструменти модельовання таких технологій, що підвищують ефективність і доступність навчання.

У світі постійно зростає кількість осіб із особливими освітніми потребами. Серед них можна виділити категорії з порушеннями зору, слуху, рухової активності, когнітивними розладами, а також осіб, які постраждали через травми, зокрема унаслідок воєнних дій. Кожна з цих груп має свої специфічні вимоги до навчального середовища, і створення універсальної платформи для таких учасників є складним завданням, яке потребує індивідуалізованих рішень.

Актуальність дослідження зумовлена:

1. Постійним зростанням кількості дітей та дорослих із різними формами особливих освітніх потреб, яким потрібні індивідуалізовані технологічні рішення.
2. Недостатнім рівнем упровадження в освітню практику адаптивних цифрових інструментів, здатних враховувати специфічні вимоги користувачів.
3. Необхідністю розроблення моделі, яка б інтегрувала новітні технології у процес навчання з урахуванням специфічних потреб користувачів.

Наукова новизна цієї роботи полягає у тому, що:

- *Уперше* розроблено модель інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання, яка базується на математичному описі цього процесу і, на відміну від аналогічних рішень, передбачає комплексне використання інформаційних технологій на кожному етапі навчання, що дозволило визначити структурні та функціональні вимоги до архітектури платформи, що забезпечує ефективний інформаційний супровід інклюзивного освітнього середовища.
- *Уперше* інтегровано AI-агент до системи інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання, що забезпечує персоналізовану підтримку учнів та викладачів, автоматичний моніторинг прогресу та адаптивні рекомендації щодо методів навчання. На відміну від традиційних підходів, AI-агент аналізує когнітивні та емоційні параметри учня в режимі реального часу, що дозволяє своєчасно коригувати освітню траєкторію, підвищуючи ефективність навчального процесу в інклюзивному середовищі.

Виклад основного матеріалу

Забезпечення рівного доступу до освіти є одним із ключових завдань сучасного суспільства. Однак для осіб із особливими освітніми потребами цей процес залишається значною мірою ускладненим через наявність фізичних, сенсорних чи когнітивних бар'єрів.

У таких умовах інформаційні технології можуть відігравати вирішальну роль, дозволяючи створювати гнучкі та персоналізовані рішення для навчання. Інклюзивна освіта, яка є основою соціалізації осіб із особливими освітніми потребами, потребує сучасних інструментів, здатних ефективно адаптуватися до різних форм порушень. Традиційні методи навчання часто не враховують індивідуальних особливостей учнів, тому виникає необхідність у розробленні нових підходів до проектування освітніх систем (Pasichnyk, V., & Shestakevych, T, 2015).

У межах модельовання інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання ключовим завданням є ідентифікація та формалізація індивідуальних освітніх потреб учасників процесу, що сприяє оптимізації навчальних траєкторій та підвищенню їх адаптивності. Використання таких технологій створює сприятливі умови для когнітивної реабілітації та гармонійного розвитку потенціалу учнів. Інклюзивний освітній процес, будучи комплексним соціально-педагогічним явищем, передбачає не лише організацію рівного доступу до освітніх послуг для осіб із функціональними обмеженнями, а й впровадження технологій, що враховують індивідуальні стратегії засвоєння знань. Ключовим компонентом цієї трансформації є інтеграція комп'ютерних, інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ), які забезпечують інноваційні механізми взаємодії з навчальним контентом. Зокрема, цифрові освітні платформи надають можливість реалізації дистанційного навчання, персоналізованого контролю знань та забезпечення

безперервного комунікаційного супроводу між учнем, педагогами, батьками та фахівцями підтримання (M. Horbova, et al., 2020). Персоналізовані освітні рішення, що орієнтуються на унікальні когнітивні характеристики кожного учня, забезпечують можливість регулювання індивідуальних темпів опанування навчального матеріалу. Завдяки інформаційно-технологічному моделюванню інклюзивного освітнього процесу формується комплекс структурно-функціональних моделей навчального середовища, здатних оперативно адаптуватися до динамічних умов викладання, автоматизувати адміністративно-аналітичні операції та забезпечувати оптимальне використання ресурсів установ освіти. Гнучкість підтримуючих систем реалізується через інтеграцію автоматизованих засобів управління документацією, вдосконалення алгоритмічних механізмів опрацювання освітньої інформації та створення умов, що сприяють високоефективному процесу навчання (S. Siregar & R. Putri, 2024). Для підвищення операційної ефективності таких систем застосовуються сучасні інноваційні підходи, які включають розроблення інтелектуальних освітніх платформ на базі гнучких програмних архітектур, інтеграцію розгалужених баз даних для динамічного масштабування функціональних можливостей, а також використання комплексних аналітичних алгоритмів для збору, опрацювання та інтерпретації статистичних даних. Особливе значення в цій концепції належить впровадженню AI-агента, який забезпечує персоналізовану підтримку учнів, реалізує адаптивне навчання на основі глибокого аналізу індивідуального прогресу та надає викладачам рекомендації щодо вибору оптимальних педагогічних стратегій (O. Budnyk & M. Kotyk, 2020). Моделювання інформаційних технологій підтримання освітнього процесу для осіб з особливими освітніми потребами є інтегральною системою, що поєднує сучасні методичні підходи з передовими інформаційними технологіями з метою адаптації традиційного навчального середовища до специфічних вимог інклюзивної освіти (Nosenko Y., 2016).

Сучасна модель ґрунтується на комплексній інтеграції модульних програмних рішень, хмарних обчислень, систем штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання, що дозволяють здійснювати динамічну адаптацію навчального контенту відповідно до індивідуальних потреб користувача. На базі об'єктно-орієнтованих методів програмування та аналізу даних створюються інтерактивні платформи, здатні в режимі реального часу здійснювати моніторинг прогресу та надавати рекомендації щодо оптимізації навчальних траєкторій. Технологічний аспект даної моделі реалізується через розроблення адаптивних алгоритмів, які аналізують індивідуальні особливості учнів, забезпечуючи персоналізоване подання освітнього матеріалу та інтерфейси, орієнтовані на максимальну зручність використання для осіб з особливими освітніми потребами. Застосування систем машинного навчання для прогнозування результативності навчання та оптимізації розподілу ресурсів дозволяє підвищити ефективність засвоєння знань, що підтверджується статистичними даними. У деяких дослідженнях відзначалося збільшення рівня успішності на 25–30 % порівняно з традиційними методами викладання. При цьому, використання інтерактивних платформ дає змогу здійснювати аналіз поведінки учня, коригувати навчальний процес у режимі реального часу та впроваджувати індивідуалізовані стратегії підтримки (K. Ehimwenma et al., 2018). Відомі проекти, такі як “Accessible Learning” в Європі (M. Ocampo, et al., 2016), ініціатива “E-Bridge” у Сполучених Штатах (A. Alhosban, et al., 2024), а також інтеграційні рішення на базі системи Moodle (O. Poobrasert, et al., 2022), демонструють практичну реалізацію моделей інформаційно-технологічної підтримки, які вже здобули популярність серед навчальних закладів. Ці проекти орієнтовані на розроблення спеціалізованих інтерфейсів та засобів адаптації освітнього контенту, що враховують нейропсихологічні та соціальні особливості цільових груп. Комплексна архітектура таких систем включає модулі зворотного зв'язку, аналізу даних, а також забезпечення кібербезпеки, що є критичним чинником у сучасних інформаційних середовищах.

Окрім вже згаданих ініціатив, існують численні проекти, що успішно впроваджують інноваційні технологічні рішення в інклюзивну освіту. Так, наприклад, проект «Inclusive TechEd», реалізований у Європі, використовує хмарні технології та алгоритми машинного навчання, що дозволяють підвищити успішність засвоєння матеріалу на 35 % і збільшити залученість студентів на 40 %. У Сполучених Штатах проект «SmartEd» орієнтується на використання штучного інтелекту та когнітивних обчислень для моніторингу навчального процесу в режимі реального часу, що дозволило

знизити кількість повторних помилок на 25 % і сприяти зростанню активності учнів на 40 %. В Австралії реалізовується проект «TechAccess», який інтегрує технології віртуальної та доповненої реальності для створення симуляційних моделей, завдяки чому продуктивність навчання підвищується на 30 %, а практичне засвоєння знань зростає на 45 %.

Канадський проект «EduAdapt», що базується на використанні розподілених обчислювальних платформ та алгоритмів оптимізації (зокрема генетичних алгоритмів і алгоритмів рою частинок), демонструє зростання ефективності навчання на 33 % і покращення засвоєння знань на 28 %. Інтеграція цих прикладів у загальну модель інформаційно-технологічної підтримки освітнього процесу підкреслює важливість застосування сучасних технологічних підходів для створення інклюзивних та високоефективних середовищ, здатних задовольнити індивідуальні потреби кожного учня та сприяти розвитку новітніх методик інклюзивної освіти в глобальному масштабі (R. Babu, et al., 2025). Додатково, інтеграція технологій віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) дозволяє створювати симуляційні моделі, які сприяють розвитку практичних навичок у безпечному цифровому середовищі. Статистичні дані в дослідженні (J. Dhairya, et al., 2024) вказують, що застосування VR/AR-технологій може підвищити рівень засвоєння матеріалу на 40 %, що є особливо важливим для учнів з особливими освітніми потребами, яким потрібен більш інтерактивний та практично орієнтований підхід.

Крім того, розвиток технологій блокчейн для забезпечення прозорості та безпеки зберігання даних створює додатковий рівень захисту персональної інформації, що є особливо актуальним в умовах зростання кіберзагроз та вимог до конфіденційності.

Формальна модель рекомендаційної системи навчального процесу для осіб з особливими освітніми потребами із застосуванням AI-агента

Для формалізації моделі рекомендаційної системи навчального процесу для осіб з особливими освітніми потребами розглянемо основні множини та простори даних:

1. P – множина учасників освітнього процесу: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_W\}$, де W — загальна кількість учасників.
2. E – простір початкових освітніх цілей: $E = \{e_{i,j,k} \mid i \in I, j \in J, k \in K\}$, де i – індекс предметної області, j – порядковий номер або рівень конкретної освітньої мети, k – форма або модальність реалізації (очно, дистанційно, мультимедійно тощо).
3. X – простір даних діагностики: $X = \{x_p^{(d)} \mid p \in P, d \in D\}$, де d представляє тип діагностичних тестів (психофізіологічні, когнітивні, педагогічні).
4. R – простір персоналізованих вимог (потреб), який отримується як результат аналізу даних діагностики через функцію: $\psi : X \rightarrow P(R)$, де $P(R)$ – набір персоналізованих вимог для кожного $p \in P$.
5. C – простір контекстуальних параметрів: $C = \{c_p \mid p \in P\}$, що враховує: умови навчального середовища; індивідуальні особливості викладача та соціально-психологічний контекст.
6. D – простір динамічних даних зворотного зв'язку: $D = \{d_p(t) \mid p \in P, t \in T\}$, де t – часовий параметр, а $d_p(t)$ – поточні результати та показники ефективності навчання.
7. L – бібліотека інформаційно-технологічних засобів: $L = \{l_1, l_2, \dots, l_{n_L}\}$, де l_i – стандартні адаптивні навчальні модулі, програмне забезпечення та цифрові засоби підтримки, що використовуються для полегшення навчання.
8. A – множина функціональних можливостей AI-агент: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{n_A}\}$, де a_i охоплюють алгоритми адаптивного навчання та персоналізованого зворотного зв'язку.

Для кожного учасника p початкові освітні цілі $e_p \in E$ адаптуються до контексту $c_p \in C$ за допомогою функції (1):

$$\chi : E \times C \rightarrow E', \quad (1)$$

де E' – уточнений набір освітніх цілей з урахуванням особливостей навчального середовища та індивідуальних характеристик.

Далі, розглянемо синтез підтримуючого модуля з урахуванням часу та зворотного зв'язку. Остаточну форму підтримки для учасника p у момент t визначаємо функцією (2):

$$m_p = f(X(e_p, c_p), \psi(x_p), A, d_p(t), t), \quad (2)$$

де $X(e_p, c_p)$ – адаптовані освітні цілі, $\psi(x_p)$ – вектор персоналізованих вимог, A – набір AI-сервісів для прийняття динамічних рішень, $d_p(t)$ – поточні дані зворотного зв'язку. Отже, функція f вирішує багатокритеріальну оптимізаційну задачу з метою підібрати оптимальне поєднання засобів з L та сервісів з A .

AI-агент реалізує політику прийняття рішень: $\pi : S \rightarrow A$, де S – поточний стан системи, що включає діагностичні дані X , контекст C , адаптовані цілі E' та динамічні показники D .

Моделювання інформаційно-технологічної підтримки освітнього процесу для осіб з особливими освітніми потребами

Діаграма варіантів використання системи інформаційно-технологічного забезпечення інклюзивного навчання представлена на рисунку 1.

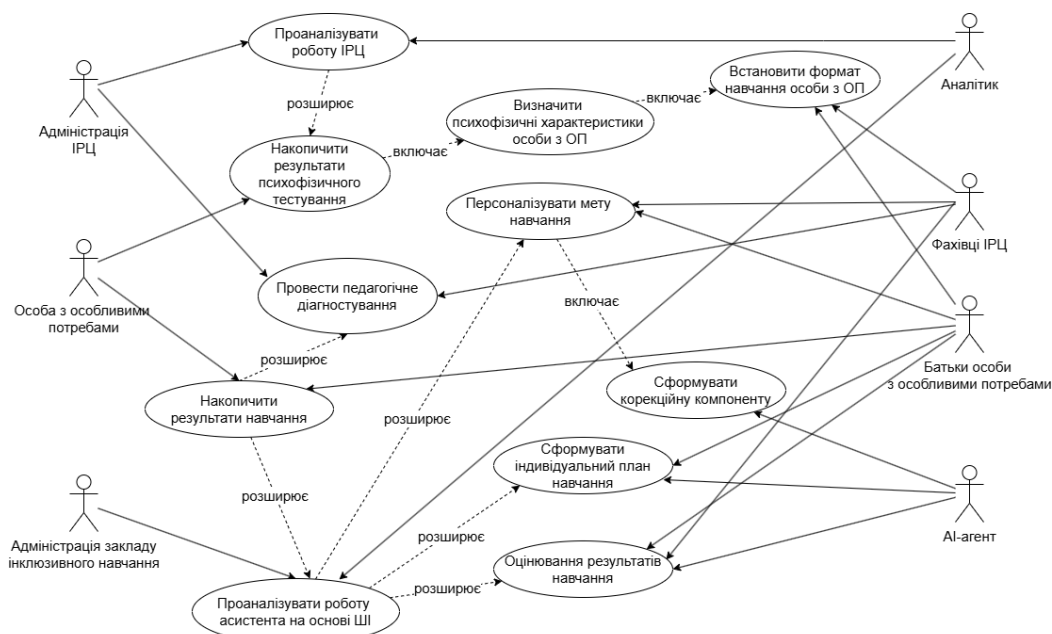


Рис. 1. Діаграма варіантів використання взаємодії особи з особливими освітніми потребами із платформою інклюзивної освіти

Представлена вище діаграма варіантів використання ілюструє функціональну модель системи інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання, відображаючи взаємодію основних акторів та функціональних компонентів системи.

У центрі цієї системи знаходиться особа з особливими освітніми потребами, навчальний процес якої підтримується адміністрацією ІРЦ, аналітиками, фахівцями ІРЦ, батьками, адміністрацією навчального закладу та асистентом на основі штучного інтелекту. Адміністрація ІРЦ відіграє ключову роль у контролі та аналізі ефективності навчального процесу, ініціюючи накопичення результатів психологічного тестування та оцінюючи загальну результативність інклюзивних програм. Важливим елементом є аналітики, які здійснюють визначення психофізичних характеристик осіб з особливими освітніми потребами та встановлюють формат навчання, що дозволяє персоналізувати освітній процес відповідно до індивідуальних потреб кожного учня. Фахівці ІРЦ безпосередньо взаємодіють із учнями, проводячи педагогічну діагностику, персоналізуючи навчальні цілі та формуючи корекційні компоненти, необхідні для ефективного засвоєння матеріалу.

Усі ці процеси інтегруються з механізмами моніторингу навчального прогресу, який передбачає накопичення результатів навчання, формування індивідуального плану та оцінювання результатів. Адміністрація закладу інклюзивного навчання забезпечує контроль роботи асистента на основі штучного інтелекту, який, у свою чергу, здійснює автоматизоване опрацювання навчальних даних, персоналізацію освітніх рекомендацій та оцінювання прогресу учня. Впровадження штучного інтелекту дозволяє підвищити точність діагностики, автоматизувати адаптацію навчальних матеріалів, надавати викладачам та аналітикам обґрунтовані рекомендації щодо вибору методик навчання та створювати аналітичні звіти, що сприяють оптимізації навчального процесу.

Крім того, система дозволяє забезпечити гнучке керування освітньою траєкторією кожного учня, враховуючи його індивідуальні особливості та потреби.

На UML-діаграмі, яка представлена на рисунку 2, зображений процес інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання, розроблений з урахуванням вимог учасників освітнього процесу. Запропонована модель охоплює всі ключові етапи інклюзивного навчання, забезпечуючи комплексний підхід до його реалізації.

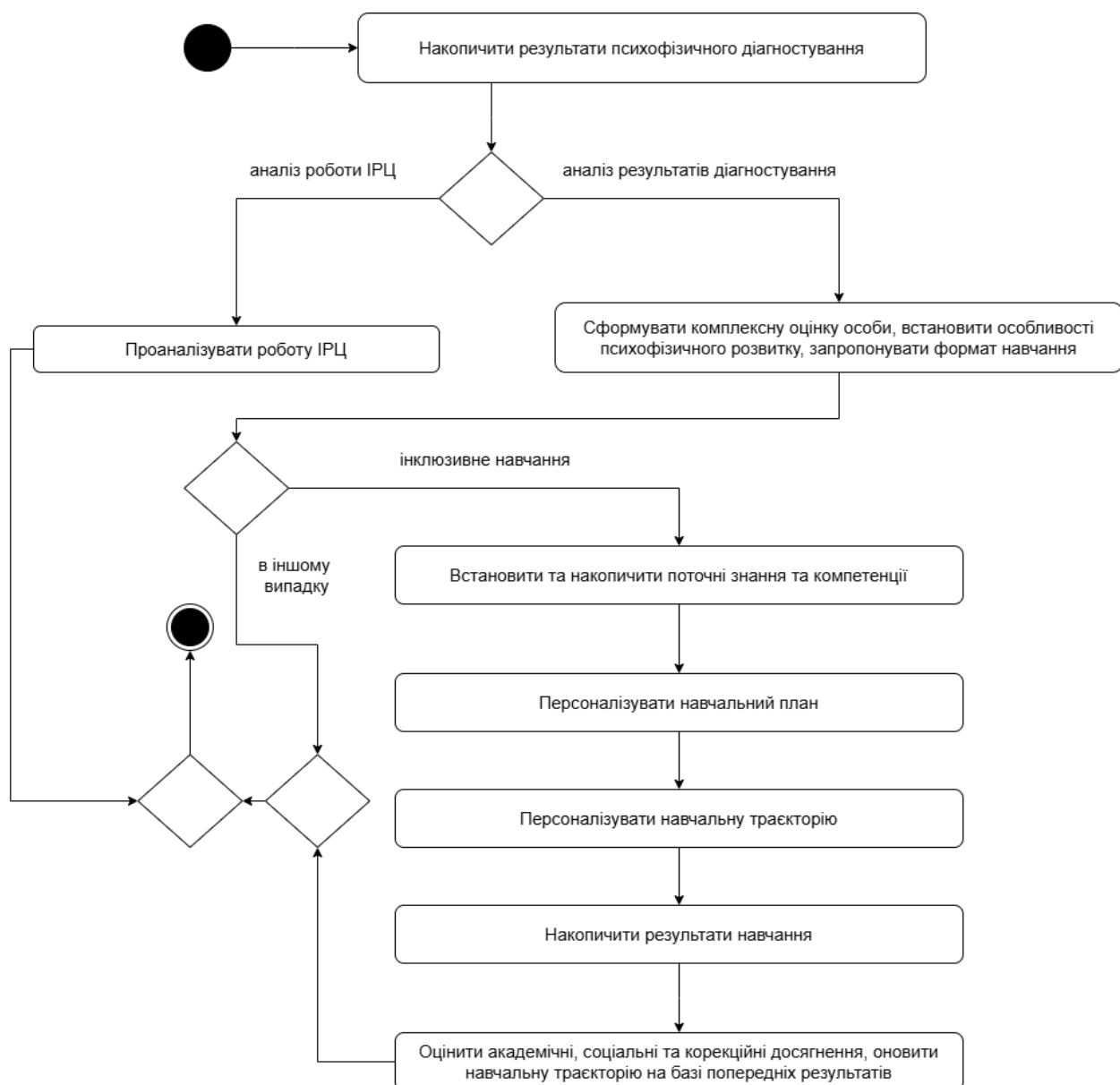


Рис. 2. Діаграма діяльності інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання

На діаграмі зображено послідовність етапів роботи з особою, що має особливі освітні потреби, починаючи від накопичення результатів психодіагностування та аналізу діяльності ІРЦ і закінчуючи формуванням та коригуванням індивідуальної навчальної траєкторії. Спочатку здійснюється оцінка психофізичних особливостей та визначення формату навчання, далі – встановлення та поповнення поточних знань, розроблення персоналізованої навчальної траєкторії і накопичення результатів навчання. На фінальному етапі проводиться оцінювання академічних, соціальних та корекційних досягнень, а також оновлення навчальної траєкторії з урахуванням отриманих результатів.

У процесі аналізу процесу навчання осіб з особливими освітніми потребами було встановлено низку фундаментальних функціональних стадій та визначено їх характерні ознаки, серед яких – дотримання ретельно структурованої послідовності етапів, а також необхідність синхронної реалізації певних освітніх завдань у межах відповідних стадій. З метою формалізації зазначених вимог було застосовано апарат мереж Петрі, що виступає як високорівнева математична абстракція. Цей інструмент дозволяє не лише детально відобразити комплексні причинно-наслідкові зв'язки, притаманні багатокомпонентним системам, але й наочно ілюструвати паралельні процеси та явища, властиві саме інклюзивному навчальному процесу. Використання мереж Петрі забезпечує формалізоване моделювання поведінки систем з асинхронною взаємодією, що дозволяє компактно представити як структурні взаємозв'язки між елементами системи, так і динаміку їх змін за умов визначених початкових параметрів. Базуючись на формалізованому описі процесів інклюзивного навчання, виконаємо моделювання моделі процесу інклюзивного навчання із застосуванням мереж Петрі як аналітичного інструменту.

У цій моделі мережа подається як графічне та аналітичне представлення, що формується за допомогою скінченних множин позицій (P) та переходів (T), а також відповідних входних (I) та вихідних (O) функцій.

Зміст переходів у мережі відображає події, що є маркерами реалізації конкретних освітніх завдань, тоді як позиції інтерпретуються як умови, що забезпечують настання цих подій. Власне, події в процесі ІН мають втілення у виконанні певних освітніх завдань, наслідки яких слугують базою для виникнення наступних подій.

На рисунку 3 представлена мережа Петрі $C = (P, T, I, O)$, яка моделює процес навчання осіб з особливими освітніми потребами, де множина переходів представлена $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{12}\}$, а множина позицій представлена $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{15}\}$.

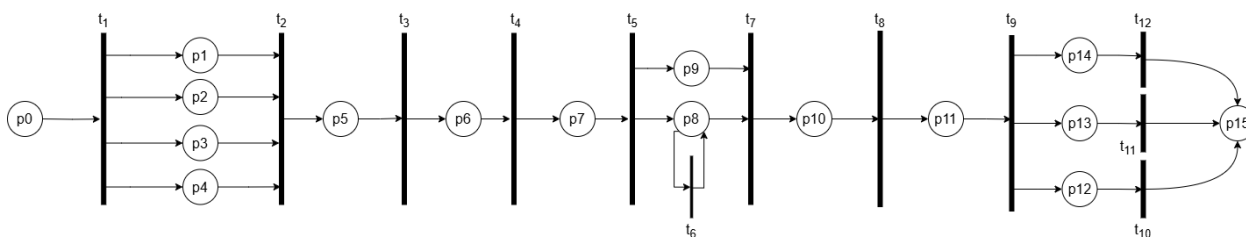


Рис. 3. Мережа Петрі як модель процесу навчання осіб з особливими освітніми потребами

Однією з основних переваг використання формалізму мереж Петрі для моделювання освітніх процесів є можливість зручного графічного та аналітичного представлення специфічних взаємодій і послідовності виникнення подій, властивих даній сфері. Використання апарату мереж Петрі дозволяє не лише детально зафіксувати функціональні аспекти моделі, а й зафіксувати її структурні характеристики, що істотно оптимізує процес моделювання паралелізмів, притаманних освітнім процесам. У контексті формалізації навчального процесу для осіб з особливими освітніми потребами проведемо визначення позицій мережі Петрі, їх змістовного наповнення та представимо в таблиці 1. В даній інтерпретації позиції мережі виступають у ролі умов, що передують настанню певних подій.

Таблиця 1

Позиції мережі Петрі як моделі паралелізму в системі навчання осіб з особливими освітніми потребами та їх семантична інтерпретація

Позиція	Інтерпретація позиції
p_0	Необхідність на розробку AI-агентованого навчального комплексу для учнів з особливими освітніми потребами
p_1	Ідентифікаційні дані особи
p_2	Висновки діагностики в психолого-медикопедагогічній консультації та експертами
p_3	Результати опитування батьків
p_4	Результати самоопитування особи
p_5	Виховна та корекційна мета (цілі навчання й розвитку з урахуванням особливих потреб учня)
p_6	Фіксовані особливі освітні потреби
p_7	Формалізована мета навчання
p_8	База даних компонентів AI-платформи
p_9	Сховище даних результатів психофізичної діагностики
p_{10}	Характеристика компонентів навчального AI-комплексу
p_{11}	Проект AI-асистованого навчального комплексу для учнів з особливими освітніми потребами
p_{12}	Результати впровадження AI-агентованого навчального комплексу
p_{13}	Психофізичні характеристики учня, який здобуває освіту (оновлювані дані про поточний стан, потреби в корекції)
p_{14}	Результати академічної освіти (проміжні та підсумкові оцінки, аналіз досягнень)
p_{15}	Готовність до наступної експлуатації системи

Переходи мережі Петрі, що за своєю сутністю є подіями, трактуються як процеси. В таблиці 2 представлені переходи та їх відповідна семантична інтерпретація.

Таблиця 2

Переходи мережі Петрі як моделі паралелізму в системі навчання осіб з особливими освітніми потребами та їх семантична інтерпретація

Перехід	Інтерпретація переходу
1	2
t_1	Розпочати експлуатацію рекомендаційної AI-системи: первинні налаштування, ініціалізація даних
t_2	Процес здійснення всебічного оцінювання психофізіологічного розвитку
t_3	Процес системного аналізу результатів комплексної оцінки психофізіологічного розвитку
t_4	Процес розроблення рекомендацій, спрямованих на оптимізацію формату навчання
t_5	Розпочати роботу зі сховищами даних та базами даних учнів з особистими потребами щодо результатів навчальної та психофізичної діагностики
t_6	Розроблення програмного забезпечення з урахуванням інклюзивних стандартів і вимог доступності
t_7	Визначити характеристики компонентів AI-комплексу
t_8	Об'єднати всі характеристики та сформулювати рекомендацію щодо структури AI-асистованого навчального комплексу
t_9	Трансфер (впровадження) проекту AI-комплексу в реальний освітній процес
t_{10}	Проаналізувати та оновити сховище даних психофізичної діагностики
t_{11}	Проаналізувати та оновити базу даних академічних результатів
t_{12}	Проаналізувати та оновити дані AI-комплексу

Далі, учасників процесу інклюзивного навчання, залучених до використання системи інформаційно-технологічної підтримки такого процесу, позначимо наступним чином: K_1 – суб'єкт із особливими освітніми потребами, K_2 – фахівці ІРЦ, K_3 – асистент на основі штучного інтелекту, K_4 – батьки особи з особливими освітніми потребами, K_5 – адміністрація ІРЦ, K_6 – органи управління інклюзивного навчального закладу, K_7 – аналітик, відповідальний за оцінювання.

Позначимо інформаційні технології підтримки як IT_{ij} , де «i» – номер етапу інклюзивного навчання, а «j» – порядковий номер конкретної інформаційної технології, що реалізується на відповідному етапі. У межах цієї системи умовно встановлюються такі позначення: IT_{11} – технологія підтримки психофізичного діагностування, IT_{12} – технологія формування комплексної оцінки психофізичного розвитку особи, визначення особливих потреб та розробки рекомендацій щодо оптимізації формату навчання, IT_{13} – технологія аналізу діяльності ПМПК, IT_{21} – технологія супроводу діагностування поточних базових грамотностей та компетентностей із систематичним збереженням результатів, IT_{22} – технологія персоналізації навчального плану, IT_{31} – технологія формування персоналізованої навчальної траєкторії, IT_{32} – технологія накопичення результатів навчання.

У таблиці 3 наведено структуровану класифікацію ролей користувачів платформи, що забезпечує інформаційно-технологічну підтримку інклюзивного навчання.

Таблиця 3

Інформаційні технології платформи підтримки навчання осіб з особливими освітніми потребами та їх користувачі

Етап ІН	IT_{ij}	Користувачі системи інформаційно-технологічної підтримки навчання осіб з особливими освітніми потребами						
		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
Етап І	IT_{11}	+	+		+	+		
	IT_{12}	+	+		+	+		+
	IT_{13}		+			+	+	+
Етап ІІ	IT_{21}		+	+	+	+	+	
	IT_{22}		+	+	+	+	+	
Етап ІІІ	IT_{31}			+	+		+	
	IT_{32}			+	+		+	

З метою формалізації процесу інформаційно-технологічної підтримки інклюзивного навчання представимо його як динамічну зміну стану системи, яка залежить від її поточного стану та зовнішньої інформації. Математичну модель такого процесу зручно конструювати із застосуванням абстракції скінченних автоматів.

У цьому контексті автомат, що моделює процес підтримки, задається як $D = (S, S_0, I, \mu, F)$, де S – скінченна множина станів, S_0 – початковий стан, I – вхідний алфавіт, μ – функція переходів, визначена за формулою $\mu: S * I \rightarrow S$, яка відображає пару «стан–вхідний символ» у певний стан, що слідує за відповідним переходом, а F – скінченна множина кінцевих станів.

Складові цього автомата формуються із використанням елементів математичної моделі інклюзивного навчання, заданої мережею Петрі (рис. 4).

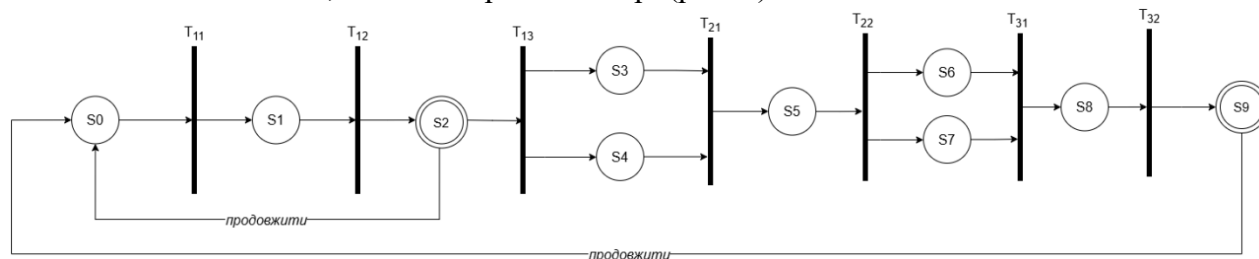


Рис. 4. Графічне представлення скінченного автомата, що моделює процес інформаційно-технологічної підтримки навчання осіб з особливими освітніми потребами

Визначимо складові автомата D^* , що слугує моделлю процесу інформаційно-технологічного підтримання інклюзивного навчання: $D^* = (S, S_0, I, \mu, F)$, $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9\}$, S_0 – початковий стан, $I = \{IT_{11}, IT_{12}, IT_{13}, IT_{21}, IT_{22}, IT_{31}, IT_{32}\}$, $F = \{S_2, S_9\}$, $F \subset S$.

Розроблена модель, що відрізняється від існуючих аналогів, передбачає всебічну інтеграцію інформаційних технологій на кожному етапі інклюзивного навчання, що сприяло формуванню специфічних вимог до ІТ-підтримання даного процесу.

Крім того, запропонована модель враховує унікальні особливості інклюзивного навчання в Україні.

Висновки

У сучасних умовах створення та впровадження навчальних програм найбільш результативним підходом до реалізації учнецентрованого навчання визнається особистісна орієнтація, яка ставить у центр освітнього процесу індивідуальність здобувача освіти, його можливості та потреби. Особливої ваги це набуває у випадку організації навчання для осіб з особливими освітніми потребами, де врахування їхніх індивідуальних особливостей є ключовою передумовою ефективного навчання. Забезпечення рівного доступу до якісної освіти для таких осіб передбачає комплексний підхід, що реалізується через інклюзивне навчання у загальноосвітніх закладах. Цей підхід базується на використанні особистісно орієнтованих методик, індивідуалізації освітнього процесу з урахуванням пізнавальних, психофізичних та соціальних особливостей учнів, а також супроводжується належною медико-соціальною, психолого-педагогічною та організаційно-технологічною підтримкою.

В результаті дослідження була створена модель інформаційної системи підтримки освітнього процесу для осіб з особливими освітніми потребами. Наведено UML-діаграми, що ілюструють ключові аспекти роботи платформи, як-от варіанти використання взаємодії особи з особливими освітніми потребами із платформою та діаграму діяльності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alhosban, A., Amoush, R., & Al-Ababneh, H. (2024). ALT-D: Enhancing Accessibility with an Adaptive Learning Technologies Assessment Model for Students with Disabilities. In *IEEE 30th International Conference on Telecommunications (ICT)* (pp. 1-5). doi: 10.1109/ICT62760.2024.10606129.
2. Balema, T., & Korsun, H. (2018). Modeling the Educational Environment for Inclusive Learning in the Educational and Training Complex "School-Gymnasium" № 12 in Korosten. *Conference on Psychological Support of Participants in the Context of Inclusive Education*. Retrieved from <http://dpsz2018.blogspot.com/2018/11/12.html>.
3. Budnyk, O., & Kotyk, M. (2020). Use of Information and Communication Technologies in the Inclusive Process of Educational Institutions. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*, 7(1), 15–23. doi: <https://doi.org/10.15330/jpnu.7.1.15-23>.
4. Chandramma R, K. S. Babu, K. S. Ranjith, A. K. Sinha, V. Neerugatti and D. S. Reddy, "Enhancing E-learning Accessibility through AI(Artificial Intelligence) and Inclusive Design," *2025 6th International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics (ICMCSI)*, Goathgaun, Nepal, 2025, pp. 1466-1471, doi: 10.1109/ICMCSI64620.2025.10883148
5. Dhairya, J., Hrishikesh, G. P., Sonu, D., Vaishnavi, S., Sanapala, L., & Pallavi, L. (2024). Skillify: Enhanced Learning Management System Using Generative AI. In *7th International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)* (pp. 1527-1532). doi: 10.1109/ICCPCT61902.2024.10672966.
6. Ehimwenma, K. E., Crowther, P., & Beer, M. (2018). Formalizing logic-based rules for skills classification and recommendation of learning materials. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 10(9), 1–12. doi: <https://doi.org/10.5815/ijites.2018.09.01>.
7. Horbova, M., Andrunyk, V., & Chyrun, L. (2020). Virtual Reality Platform Using ML for Teaching Children with Special Needs. *MoMLeT+DS*. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-2631/paper16.pdf>.
8. Kovrigina, L. (2021). Three-Level Model of Support for Students with Special Educational Needs in an Inclusive Classroom. *Acta Paedagogica Volyniensis*, 5, 158-164. doi: <https://doi.org/10.32782/apv/2021.5.24>.
9. Kozibroda, L. (2020). Main Models of Inclusive Education Organization in General Education Schools (Early 21st Century). *Scientific Works of the National University "Lviv Polytechnic"*, 8, 15-27. doi: <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2020.08/015-027>.

10. Nosenko, Y. G. (2016). Electronic Inclusion as an Effective Strategy for Ensuring Accessibility and Openness of Education. In *Pedagogical Innovations: Ideas, Realities, Perspectives*, 2(17), 116–123.
11. Nosenko, Y. G. (2018). The role of information and communication technology in supporting inclusive learning. (pp. 24-32). *Modern ICT tools for supporting inclusive learning*. Poltava: PUET. <https://doi.org/37.043.2-056.213:004072>.
12. Ocampo, M. G., Hernández Leal, E., Cadavid, J. M., Gómez, D. E., & Méndez, N. D. (2016). Application of a technical tool to support the inclusion process of people with visual impairment in an educational web platform. In *XI Latin American Conference on Learning Objects and Technology (LACLO)* (pp. 1-5). doi: 10.1109/LACLO.2016.7751785.
13. Pasichnyk, V., & Shestakevych, T. (2015). Modeling information technology support for inclusive education of individuals with special needs (3rd ed.). Lviv: Science LPNU.
14. Poobrasert, O., Luxsameevanich, S., & Banlawanit, A. (2022). Online Learning Platform for Students with Disabilities: Possible Path to Progress. In *XII International Conference on Virtual Campus (JICV)* (pp. 1-4). doi: 10.1109/JICV56113.2022.9934700.
15. Siregar, S. W., & Putri, R. A. (2024). Information System for Data Collection on Building Tools and Materials Using the Rational Unified Process (RUP) Method. In *PIKSEL: Penelitian Ilmu Komputer Sistem Embedded and Logic*, 12(2), 455-466. doi: <https://doi.org/10.33558/piksel.v12i2.9951>.

MODELING AN INFORMATION TECHNOLOGY SYSTEM TO SUPPORT THE EDUCATIONAL PROCESS FOR INDIVIDUALS WITH SPECIAL NEEDS

Ihor Chushchak¹, Vasyl Andrunyk²

^{1,2} Lviv Polytechnic National University,

Department of information systems and networks, Lviv, Ukraine

¹ E-mail: ihor.m.chushchak@lpnu.ua, ORCID: 0009-0005-1112-971X

² E-mail: vasyl.a.andrunyk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0003-0697-7384

© Chushchak I., Andrunyk V., 2025

The article is dedicated to the development and application of information technologies to support the educational process of individuals with special educational needs. A conceptual model is proposed that combines modern information and communication technologies, artificial intelligence methods and mathematical models for personalizing learning and taking into account the individual characteristics of participants in the educational process. Specific requirements for an inclusive environment are considered, in particular, taking into account the cognitive, sensory and communication characteristics of students. Existing approaches to the use of information and communication technologies are analyzed, in particular, artificial intelligence systems, mathematical modeling and adaptive learning platforms. An analysis of domestic and foreign research in the field of inclusive learning and the implementation of digital solutions is conducted, and the advantages of integrating intelligent systems into learning platforms are also identified. The scientific novelty lies in the fact that for the first time a model for supporting inclusive learning has been developed, which is based on a mathematical description of this process and, unlike known solutions, involves the integrated use of information technologies at each stage of learning, which made it possible to determine the structural and functional requirements for the platform architecture and ensure effective information support for an inclusive educational environment. Practical examples of the use of UML diagrams and Petri nets to formalize processes and reflect the interaction between key learning participants are given. The results of the work may be useful for developers of educational systems and inclusion specialists. The use of the described solutions makes it possible to increase the effectiveness of learning, promote social adaptation and develop the potential of individuals with special educational needs in the modern information space.

Keywords - modelling, information support technologies, inclusive education, special educational needs, artificial intelligence.