



ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА (PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION)

p-ISSN: 2413-1571, e-ISSN: 2413-158X

2026, 41(3), <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-07>

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОБЛЕМНО- ОРІЄНТОВАНИХ СИТУАЦІЙ У ФАХОВІЙ ПІДГОТОВЦІ ВЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ

Ольга ЯКОВЛЕВА ✉

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
yakovlieva.on@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-0750-9769>

Ольга ПАПАЧ

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
olivapa@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-8960-5457>

Анастасія ДРОЦЬ

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
Dudko.AI@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-7400-7270>

Марія ПАРЛІКОВА

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
Parlikova.MO@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0003-1678-1905>

CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF USING PROBLEM-ORIENTED SITUATIONS IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF MATHEMATICS TEACHERS

Olga YAKOVLIEVA ✉

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
yakovlieva.on@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-0750-9769>

Olha PAPACH

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
olivapa@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-8960-5457>

Anastasiia DROTS

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
Dudko.AI@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-7400-7270>

Maria PARLIKOVA

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
Parlikova.MO@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0003-1678-1905>

АНОТАЦІЯ

У статті визначено концептуальні засади використання проблемно-орієнтованих ситуацій як інноваційної технології у фаховій підготовці вчителів математики, окреслено авторську методику конструювання таких ситуацій при викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики, наведено приклади з узагальненого педагогічного досвіду авторів.

Формулювання проблеми. Проблемно-орієнтоване навчання (ПОН) розвиває предметно-методичну компетентність майбутніх учителів математики. Однак наявні дослідження зосереджені переважно на використанні окремих проблемних завдань, а не на системній методиці конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій. Нерозв'язаним залишається питання: як навчити майбутнього вчителя не лише розв'язувати, а й самостійно проектувати такі ситуації. Авторська методика заповнює цю лакуну, пропонуючи типологію ситуацій та поетапний алгоритм упровадження – від суб'єктивного «проживання» проблеми в математичних дисциплінах до рефлексивного проектування у курсі методики навчання математики.

Матеріали і методи. Методологічну основу дослідження становлять системний та діяльнісний підходи до фахової підготовки вчителів математики. Використано методи аналізу, синтезу, систематизації, порівняння, а також узагальнення власного педагогічного досвіду щодо впровадження освітніх інновацій.

Результати. Визначено концептуальні засади впровадження ПОН як інноваційної технології. Презентовано авторську методику конструювання проблемно-

ABSTRACT

The article defines the conceptual foundations of using problem-oriented situations as an innovative technology in the professional training of mathematics teachers, outlines the authors' methodology for designing such situations in teaching mathematical disciplines and methods of teaching mathematics, and provides examples from the authors' generalized pedagogical experience.

Formulation of the problem. Problem-oriented learning (POL) contributes to the development of subject-specific and methodological competence in future mathematics teachers. However, existing studies focus primarily on individual problem-based tasks rather than on a systematic methodology for designing problem-oriented situations. Thus, the issue of how to prepare future teachers not only to solve such situations but also to design them independently remains unresolved. The authors' methodology addresses this gap by proposing a typology of problem-oriented situations and a step-by-step implementation algorithm that progresses from students' subjective experiences of mathematical problems within mathematical disciplines to reflective design in the course on methods of teaching mathematics.

Materials and methods. The methodological basis of the research is formed by systemic and activity-based approaches to the professional training of mathematics teachers. The methods of analysis, synthesis, systematization, comparison, and generalization of the authors' own pedagogical experience in implementing educational innovations were used.

Results. The conceptual foundations for implementing problem-based learning (PBL) as an innovative technology have been

орієнтованих ситуацій («алгоритмічної неможливості», «часового обмеження», «методичної нераціональності» тощо), яка стимулює самостійний пошук здобувачів. Окреслено особливості впровадження ПОН у викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики, запропоновано поетапність: від суб'єктивного розв'язання проблемно-орієнтованих ситуацій до опанування методів їх проектування в курсі методики.

Висновки. Упровадження авторської методики у фахову підготовку вчителів математики сприятиме переходу студентів від ролі пасивних слухачів до активних дослідників та розробників освітнього контенту, збагачуючи їхній індивідуальний методичний арсенал інноваційними інструментами навчання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фахова підготовка вчителів математики; проблемно-орієнтоване навчання; проблемно-орієнтовані ситуації; інноваційні освітні технології; проектування освітнього середовища.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Яковлева О., Папач О., Дроць А., Парлікова М. Концептуальні засади використання проблемно-орієнтованих ситуацій у фаховій підготовці вчителів математики. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 55-63. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-07>.

defined. The author's methodology for constructing problem-based situations ("algorithmic impossibility," "time constraints," "methodological irrationality," etc.) that stimulate students' independent exploration is presented. The article outlines the specific features of implementing problem-oriented learning in the teaching of mathematical disciplines and mathematics pedagogy, and proposes a phased approach: from the subjective resolution of problem-oriented situations to mastering the methods of designing them in a course on teaching methodology.

Conclusions. The implementation of the authors' methodology into the professional training of mathematics teachers will facilitate students' transition from passive listeners to active researchers and developers of educational content, enriching their individual methodological toolkit with innovative teaching tools.

KEYWORDS: professional training of mathematics teachers; problem-based learning; problem-oriented situations; innovative educational technologies; designing the educational environment.

FOR CITATION: Yakovlieva, O., Papach, O., Drots, A., & Parlíkova, M. (2026). Conceptual foundations of using problem-oriented situations in the professional training of mathematics teachers. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 55-63. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-07>.

ВСТУП

Системне реформування всіх ланок національної освіти – від профільної середньої школи до вищої школи – потребує стратегічного оновлення підходів до навчання. В Положенні про акредитацію (2019) чітко вказується на необхідність упровадження інноваційних технологій, які дозволять змістити акценти з пасивного сприйняття інформації на самостійний пошук рішень в межах професійних проблемних ситуацій. Державні стандарти базової загальної та профільної середньої освіти також визначають нові вимоги до організації освітньої діяльності та задають орієнтири як для працюючих, так і для майбутніх вчителів математики. Ефективний учитель математики сьогодення – це не лише ретранслятор знань, а й розробник креативного освітнього контенту, тому сучасне викладання математики повинно фокусуватися на впровадженні інноваційного інструментарію, що доповнюватиме традиційні методи та дозволятиме їх трансформувати. При цьому головною метою навчання постає використання широкого спектра освітніх інновацій для подолання пасивності здобувачів освіти та переведення фахової підготовки на новий технологічний рівень. Серед таких інноваційних освітніх технологій можна вказати: проєктне навчання (Project-Based Learning), контекстне та ігрове навчання (Gamification), мобільні технології (M-learning), змішані форми організації освітнього процесу (Blended Learning), проблемно-орієнтоване навчання (Problem-Based Learning, PBL) тощо.

Аналіз актуальних досліджень. Однією з найбільш затребуваних сучасних педагогічних технологій є проблемно-орієнтоване навчання (далі ПОН), яке виступає інструментом розвитку предметно-методичної компетентності. Її структура змінює саму дидактичну конструкцію взаємодії «викладач-студент». В основі цієї технології лежить використання неструктурованої та реалістичної проблеми як відправної точки для набуття нових знань та розвитку навичок критичного мислення, що змушує суб'єктів навчання самостійно вибудовувати траєкторію пізнання в умовах невизначеності.

Теоретичне підґрунтя проблемно-орієнтованого навчання було закладено в медичній освіті. Barrows (1986) запропонував такономію методів ПОН, виокремивши різні рівні структуривання проблеми та ролі викладача – від повністю структурованого кейсів до відкритого дослідницького пошуку. Спільно з Tamblyn (Barrows & Tamblyn, 1980) він обґрунтував ПОН як альтернативу традиційному лекційному навчанню, що дозволяє здобувачу інтегрувати знання з різних дисциплін для розв'язання реальних клінічних задач. Згодом Hmelo-Silver (2004) на основі аналізу численних досліджень уточнила когнітивні механізми впливу ПОН, показавши, що він сприяє розвитку гнучкого мислення, самостійності та здатності переносити знання в нові контексти. У свою чергу Savery (2015) запропонував чітке відмежування ПОН від інших активних підходів (проєктного навчання, кейс-методу, проблемно-орієнтованого навчання як філософії), що дозволило уникнути термінологічних збігів Вагомим підтвердженням ефективності ПОН став мета-аналіз Strobel та van Barneveld (2009), який показав, що студенти, навчені за методом ПОН, демонстрували кращі результати у застосуванні знань на практиці, хоча можуть поступатися студентам традиційних груп у тестах на відтворення фактів.

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених загальним засадам проблемного навчання, аналіз сучасної літератури засвідчує певну галузеву асиметрію: якщо в медичній та інженерній освіті ПОН має розгалужені стратегічні моделі, то в підготовці вчителів математики воно залишається фрагментарним. Наявні дослідження зосереджені переважно на використанні окремих проблемних завдань, а не на системній методиці конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій. Залишається невирішеним питання, як навчити майбутнього вчителя математики не лише розв'язувати, а й самостійно проектувати такі ситуації.

Так, у праці (Гуменна, 2025) описано досвід навчання студентів аграрного коледжу, де акцент зміщено з репродуктивного засвоєння знань на розвиток умінь аналізувати альтернативні варіанти розв'язання проблеми та обирати найбільш раціональний у складних виробничих умовах. Результати педагогічного експерименту, проведеного авторкою, засвідчили суттєве зростання рівня когнітивної самостійності здобувачів та їхньої здатності до оперативного прийняття рішень у ситуаціях із високим ступенем невизначеності.

Досвід імплементації ПОН в медичну освіту розкрито у статті (Должковий та ін., 2022). Автори акцентували увагу на довгостроковій ефективності технології, коли у тривалій перспективі студенти демонструють кращі результати завдяки розвиненим навичкам самостійного пошуку інформації та високій мотивації.

У роботі (Хмель, 2025) описано досвід застосування ПОН в поєднанні з цифровими інструментами для формування клінічного мислення та дослідницьких компетентностей майбутніх лікарів. Авторка обґрунтовує використання групової дискусії та самостійного формулювання висновків здобувачами освіти для забезпечення усвідомленого синтезу інформації.

У дослідженні (Романовський & Лапузіна, 2022) ПОН розглядається як стратегічна технологія підготовки лідерів-професіоналів у технічних університетах. Автори обґрунтовують доцільність використання Challenge Based Learning та Pebble in the Pond, що дозволяє змістити акценти із репродуктивного викладання на активне розв'язання автентичних професійних завдань. У статті наводяться приклади інтеграції проблемних кейсів із інтерактивними методами для забезпечення засвоєння фахових знань та розвитку стратегічного мислення й лідерського потенціалу.

Варто зауважити, що впровадження проблемно-орієнтованого навчання в процес підготовки педагогів різних спеціальностей наразі представлено не так широко, як і інших сферах підготовки фахівців в ЗВО. Так, дослідження (Дмитренко & Доля, 2016) спрямоване на вивчення змісту та структури застосування ПОН на заняттях з іноземної мови. Автори описують специфічні риси проблемно-орієнтованих ситуацій та презентують комплексну модель реалізації ПОН, структурування якої здійснюється за трьома ключовими етапами. У статті підкреслюється, що успіх ПОН залежить від трансформації ролі викладача у фасилітатора, який не ретранслює готову інформацію, а стимулює студентів до глибокого дослідження.

У праці (Валентьєва та ін., 2023) розглядаються особливості підготовки майбутніх педагогів за спеціальністю «Дошкільна освіта», де головний акцент зміщено з пасивної ретрансляції знань на активне формування професійних компетенцій через впровадження проблемно-орієнтованого навчання. Автором обґрунтовано доцільність використання проблемних лекцій як інструменту розвитку інтелектуальної незалежності студентів, результати аналізу структурних компонентів навчання — від створення проблемно-орієнтованих ситуацій до розв'язання практичних завдань — підтверджують ефективність обраної технології для досягнення навчальних цілей та адаптації майбутніх вихователів до викликів сучасного постіндустріального суспільства.

Для методики викладання математики важливе значення має дослідження (Рудик & Селезньова, 2025), у якому ПОН розглядається як ключовий фактор оптимізації підготовки в умовах STEM-орієнтованого підходу. У роботі висвітлено впровадження проблемних лекцій та специфічних проблемних домашніх завдань, що дозволяє зорієнтувати діяльність студента на творчо-дослідницький пошук, а практичну цінність становлять запропоновані авторами способи реалізації проблемно-орієнтованих ситуацій.

Проблема вибору ефективних методів підготовки фахівців у динамічних професійних середовищах є предметом активних дискусій у сучасному міжнародному науково-педагогічному дискурсі. Так, досліджуються механізми формування професійної компетентності та акцентується увага на важливості впровадження індивідуальних навчальних рівнів (CLS) у межах проблемно-орієнтованого навчання (Юо, 2026). Автор доводить, ПОН-інтегрований підхід не лише сприяє залученню студентів до активного навчання, але й виступає ефективним інструментом для розвитку критичного мислення та здатності до аналізу складних міждисциплінарних викликів, фактично нівелюючи розрив між теоретичною підготовкою та практичною діяльністю.

В роботі (Seidel et al., 2022) оцінюється потенціал проблемно-орієнтованого навчання та обґрунтовується роль ПОН як стратегічного інструменту модернізації академічних програм. Автори наголошують, що перехід від механічного запам'ятовування до розв'язання складних сценаріїв реального життя дає змогу ефективно формувати критичне мислення та навички колаборації, необхідні для успішної професійної діяльності. Такий підхід забезпечує стійкий зв'язок між теоретичними знаннями та їх практичним застосуванням у динамічному професійному середовищі.

Значний науковий інтерес становить порівняльний аналіз результативності традиційних лекцій, кейс-методів та симуляцій (Farashah & Tajeddin, 2018). Авторами доведено, що хоча лекційний виклад залишається базовим для засвоєння декларативних знань, саме симулятивне навчання забезпечує найвищий рівень процедурної компетентності та здатності до ухвалення рішень. Важливим для нашого дослідження є висновок про те, що симуляції перевершують статичні кейс-стаді у формуванні адаптивності суб'єкта до змінних умов, що створює підґрунтя для екстраполяції цих результатів на стратегію фахової підготовки майбутніх учителів математики. Водночас слід врахувати обмеження такої екстраполяції. По-перше, абсолютна природа математичного знання ускладнює створення «реалістичних» проблем, які є основою класичного ПОН у медицині чи інженерії: математичні задачі рідко мають прямі аналоги в повсякденному досвіді. По-друге, не всі моделі ПОН, розроблені для інших галузей, є безпосередньо застосованими в підготовці вчителів математики, оскільки тут важливим є не лише розроблення проблеми, а й формування здатності проектувати такі ситуації для майбутніх учнів. Отже, запропонована в цій статті методика адаптує загальні принципи ПОН до специфіки математичної освіти, зміщуючи акцент із предметного розв'язання на рефлексивне проектування проблемних ситуацій.

Особливий інтерес для нашого дослідження становить робота (Korkmaz & Kalaıcı 2021), у якій ПОН розглядається не лише як метод, а як фундаментальна освітня філософія та основа проектування навчальних планів у вищій школі XXI століття. Автори пропонують інноваційну концептуальну модель SIEDS (Structure-Implement-Evaluate-Decide-Sustain), в основі якої лежить концепція цілісного професійного становлення студента. Вона інтегрує принципи самоспрямованого навчання дорослих (андрагогіка), пріоритет особистісного досвіду (гуманізм) та орієнтацію на вимоги реального ринку праці (професіоналізм). Модель SIEDS пропонує чіткий покроковий алгоритм для інституційних змін, залучаючи широке коло стейкхолдерів до розроблення, впровадження та оцінювання навчальних програм. Важливим для нашої розвідки є висновок авторів про необхідність поєднання проблемного та проектного навчання в єдину систему, що дозволяє подолати розрив між теоретичними знаннями та практичною діяльністю, перетворюючи навчальний процес на симуляцію професійного середовища.

Сучасні міжнародні дослідження активно розвивають застосування ПОН у підготовці вчителів математики. Зокрема, в роботі (Altınbaş et al., 2025) експериментально доведено, що впровадження ПОН у курс лінійної алгебри для майбутніх учителів математики сприяє глибшому розумінню понять та підвищує самооцінку студентів. В публікації (Marco & Palatnik, 2024) досліджувалось, як спільне конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій у процесі навчання сприяє професійному зростанню вчителів математики, підкреслюючи важливість переходу від розв'язання готових задач до самостійного їх створення. В роботі (Ortiz et al., 2025) розглянуто впровадження ПОН у цифрових середовищах у магістерській підготовці вчителів математики, отримано позитивні результати щодо розвитку професійних компетентностей. Дослідження використання асинхронних цифрових симуляцій проблемних уроків для підтримки професійного розвитку вчителів математики було проведено Schwarts et al. (2024). Мета-аналіз (Yuhana & Fajari, 2025) засвідчив значний вплив ПОН на розвиток навичок розв'язування проблем у міждисциплінарному контексті, що підтверджує потенціал цієї технології в освітній практиці.

Вибір проблемних ситуацій для ПОН має спиратися на розуміння природи математичного моделювання. У цьому контексті важливою є класифікація (Abassian et al., 2020), де виокремлено п'ять типів моделювання: реалістичне, освітнє, когнітивне, соціокритичне та епістемологічне. Запропонована авторами структура дозволяє розробнику навчальних кейсів чітко диференціювати зміст завдань: від розв'язання практико-орієнтованих життєвих проблем (реалістичний підхід) до стимулювання суто математичного мислення (епістемологічний напрям).

Мета статті полягає у визначенні концептуальних засад використання проблемно-орієнтованих ситуацій як інноваційної технології у фаховій підготовці вчителів математики та демонстрації авторської методики їх конструювання при викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики. Реалізація окресленої мети передбачає послідовне вирішення двох завдань: обґрунтування теоретико-методологічного підґрунтя технології проблемно-орієнтованого навчання і розроблення та дослідну перевірку відповідного прикладного інструментарію – авторської методики конструювання проблемних ситуацій при викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики. Повноцінне експериментальне підтвердження ефективності запропонованої методики визначено як перспективний напрям наших подальших досліджень.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Методологічну основу дослідження становлять системний і діяльнісний підходи до фахової підготовки вчителів математики у закладах вищої освіти. Для досягнення мети було використано комплекс методів. Під час окреслення концептуальних засад дослідження використовувалися теоретичні методи: аналіз, синтез, систематизація та порівняння науково-методичних джерел. При проведенні дослідження використовувалися і емпіричні методи: узагальнення власного педагогічного досвіду, цілеспрямоване педагогічне спостереження за навчальною діяльністю здобувачів освіти, аналіз виконання ними проблемних завдань. Емпіричну базу досліджень становить узагальнений досвід викладацької діяльності авторів, накопичений впродовж 2022–2026 років на базі Університету Ушинського. Дослідна перевірка елементів авторської методики здійснювалася у процесі навчання здобувачів вищої освіти спеціальності 014.04 Середня освіта (Математика) першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти. Навчальний матеріал для конструювання проблемних ситуацій інтегрувався у процес викладання математичних дисциплін, зокрема, у навчальні дисципліни «Лінійна алгебра», «Аналітична геометрія», «Числові системи», «Основи курсів вищої математики» тощо та методичних дисциплін «Методика навчання математики в закладах освіти».

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У центрі проблемно-орієнтованого навчання перебуває здобувач освіти як активний дослідник, що самостійно шукає шляхи розв'язання професійно спрямованих задач. У такому контексті здобувач освіти перестає бути споживачем готових фактів, він активізує процеси аналізу і синтезу, формулює власні гіпотези та перевіряє її правильність. Впровадження ПОН у курсах математичних дисциплін вимагає від викладача відмови від репродуктивної моделі «послухав-відтворив» до продуктивної моделі «дослідив-обґрунтував». Теоретичне підґрунтя доцільності такого підходу закладено у працях вітчизняних дослідників рефлексивної складової педагогічної освіти та творчого саморозвитку фахівця (Сисоєва, 1996; Ничкало, 2014). Водночас методичну основу дослідження становлять засади трансформації предметного математичного знання у професійно-педагогічну площину (Кузьмінський та ін., 2009). Практична реалізація цього підходу під час лекційних занять дає змогу замінити механічну ретрансляцію знань на системне моделювання ситуацій інтелектуального утруднення. У таких умовах наявний когнітивний інструментарій студента виявляється недостатнім, що стає стимулом для пошуку нових методів і формування математичної інтуїції.

Практичним вираженням окреслених теоретичних засад став запропонований нами прикладний інструментарій для конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій під час проведення лекційних та практичних занять при викладанні математичних дисциплін. На основі цього підходу нами було спроектовано комплекс методичних рішень, що має низку специфічних особливостей. Для ілюстрації механізмів такого моделювання спочатку проаналізуємо обрані авторські варіанти завдань, що охоплюють різні типи навчальних ситуацій, які створюються на лекційних заняттях.

Створення ситуації алгоритмічної неможливості (тема «Степеневі ряди», Математичний аналіз). На лекції викладач пропонує обчислити інтеграл $\int_0^1 \frac{\sin x}{x} dx$, який студенти не можуть обчислити через відомі їм алгоритми (метод заміни, метод інтегрування частинами тощо). Викладач створює проблемно-орієнтовану ситуацію, демонструючи, що існують інтеграли, які не можна обчислити в квадратурах. Виходом з ситуації є перехід до наближених обчислень, де обґрунтовується ефективність застосування степеневих рядів для знаходження результату із заданою точністю.

Створення ситуації часового обмеження (тема «Комплексні числа», Лінійна алгебра). Після вивчення алгебраїчної форми комплексних чисел та операції над комплексними числами в алгебраїчній формі викладач може запропонувати на лекції обчислити наступне число $(1 - i\sqrt{3})^{47}$. Зрозуміло, що студенти за обмежений час не зможуть

цього зробити, використовуючи відомий їм інструментарій. Викладач створює проблемно-орієнтовану ситуацію, виходом з якої є перехід до запису комплексного числа у тригонометричній формі та використання формули Муавра, що дозволяє мінімізувати операційну складність завдання, помітно спрощуючи його розв'язання.

Створення ситуації методичної нераціональності (тема «Векторна алгебра», Аналітична геометрія). Після вивчення скалярного добутку векторів та його застосувань студентам пропонується обчислити площу трикутника ABC , знаючи координати його вершин $A(x_1, y_1, z_1), B(x_2, y_2, z_2), C(x_3, y_3, z_3)$. Якщо студенти почнуть обчислювати площу трикутника традиційним способом через довжини сторін та синус кута між двома обраними сторонами, то вони одразу стикнуться з громіздкими обчисленнями та дійдуть до висновку, що такий шлях не є раціональним. Виходом з створеної проблеми є введення поняття векторного добутку векторів, тоді площа трикутника, побудованого на векторах \vec{a} і \vec{b} , може бути обчислена за формулою $S_{\Delta} = \frac{1}{2} |\vec{a} \times \vec{b}|$.

Якщо під час лекції викладач через моделювання проблемно-орієнтованих ситуацій спрямовує студентів до відкриття нових теоретичних моделей, він виступає у ролі викладача-фасилітатора, то на практичних заняттях його позиція трансформується. Тут він більше виступає у ролі модератора самостійного пошуку, де студенти мають виявити гнучкість у застосуванні вже вивченого апарату. Розглянемо кілька прикладів організації такої роботи.

Створення ситуації прихованої закономірності (тема «Визначники», Лінійна алгебра). Проблемно-орієнтовані завдання доцільно пропонувати під час опрацювання властивостей визначників. Зокрема, студентам дається установка: не обчислюючи визначник безпосередньо, довести, що він дорівнює 0. Наприклад, доцільно розглядати наступні визначники:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} a+b & c & 1 \\ b+c & a & 1 \\ c+a & b & 1 \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} \sin \alpha & \cos \alpha & \sin(\alpha + \delta) \\ \sin \beta & \cos \beta & \sin(\beta + \delta) \\ \sin \gamma & \cos \gamma & \sin(\gamma + \delta) \end{vmatrix}.$$

Реалізація властивостей визначників вимагає від студентів самостійного вибору та виконання в межах поставленого завдання необхідних рівносильних перетворень рядків або стовпців визначників.

Створення ситуації інтерпретаційного дисонансу (тема «Похідна функції та її застосування», Математичний аналіз). На практичному занятті студентам пропонується графік похідної функції $y = f'(x)$ (рис.1.) із завданням знайти точку максимуму самої функції $y = f(x)$.

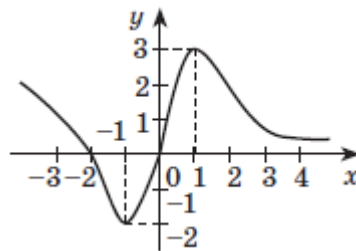


Рис. 1. Рисунок до завдання

Джерело: авторська розробка

Тут викладач свідомо провокує типову помилку: візуальне ототожнення точки максимуму похідної функції з точкою максимуму самої функції. Проблема змушує студента розмежувати візуальне сприйняття умови та логічне обґрунтування розв'язання.

Зазначимо, що створення проблемно-орієнтованих ситуацій при вивченні комплексних чисел на практичних заняттях було висвітлено в роботі (Дроць & Яковлева, 2025), що свідчить про увагу фахівців до впровадження методів ПОН у математичну освіту.

У межах нашого дослідження ми виокремлюємо низку ключових особливостей, що визначають ефективність використання проблемно-орієнтованого навчання на практичних заняттях з математичних дисциплін. Першою важливою умовою є **дотримання балансу складності**, оскільки проблемно-орієнтоване завдання не має бути надто легким чи надто важким. Якщо задача не створює виклику, здобувач втрачає до неї інтерес, тоді як надмірна складність в умовах обмеженого часу може призвести до фрустрації або апатії.

Не менш вагомим у представленій методиці є впровадження принципу евристичного фіналу («останнього кроку»). Його сутність полягає в тому, що студент, спираючись на базовий обсяг знань та алгоритмів, виконує підготовчу роботу, проте фінальний етап розв'язання завдання обов'язково вимагає відходу від шаблону. Саме цей самостійний завершальний крок забезпечує трансформацію мислення з репродуктивного в креативне та формує у студента стійку впевненість у власних інтелектуальних силах.

Також ми наголошуємо на **делегуванні вибору методу**, коли викладач свідомо уникає прямих вказівок щодо шляху розв'язання задачі. Наприклад, при обчисленні інтегралів ставиться лише кінцева мета, вибір конкретного інструментарію залишається за студентом, що безпосередньо сприяє розвитку критичного мислення. За таких умов діяльність викладача фокусується на спостереженні та постановці уточнювальних запитань, що виключає надання готових відповідей і стимулює студентів до самостійного пошуку.

Нарешті, суттєвою особливістю є **припустимість методичного «глухого кута»**, коли викладач не виправляє помилки миттєво, а виконує роль модератора. Він дозволяє здобувачам дійти до логічного тупика, адже саме момент усвідомлення власної помилки ми вважаємо ключовим у навчанні. Такий підхід найкраще реалізується у форматі колективного обговорення, де студенти вчаться аргументувати власні пропозиції та об'єктивно оцінювати ідеї інших учасників пошуку.

У межах нашого дослідження ми розмежуємо використання проблемно-орієнтованих ситуацій залежно від змісту навчальних дисциплін. Так, у курсах математичних дисциплін основна увага приділяється суб'єктному проживанню досвіду, коли студенти на власному прикладі відчувають стан інтелектуального дефіциту та проходять шлях від усвідомлення проблеми до її розв'язання. Це забезпечує не лише глибоке засвоєння фахового матеріалу, а й формування особистісного ставлення до математичного пошуку, тим самим формуючи цілісну математичну компетентність. Натомість у курсі методики навчання математики акцент зміщується на рефлексивний аналіз. Майбутні педагоги опановують логіку побудови таких занять, вчать проєктувати точки дисонансу та керувати пізнавальним пошуком вже з позиції проєктувальника освітнього середовища. Така поетапність дозволяє майбутнім учителям математики спочатку відчути ефективність проблемно-орієнтованого навчання зсередини, а згодом – свідомо використовувати цей досвід для впровадження технологій ПОН у власній педагогічній діяльності. Якщо під час вивчення математичних дисциплін здобувачі освіти опановують зміст через розв'язання проблемно-орієнтованих ситуацій, то в курсі методики навчання математики вони оволодівають самою технологією їх створення. Таким чином, ПОН постає не лише як спосіб засвоєння матеріалу та чинник інтелектуального розвитку здобувача, а як складний професійний інструмент, яким має оволодіти майбутній учитель математики.

Робота з ПОН на цьому етапі відзначається низкою специфічних рис. По-перше, відбувається трансформація позиції від виконавця до організатора пізнавального пошуку. По-друге, робота з ПОН на заняттях з методики вимагає від здобувачів опанування навичками модерації, що передбачає глибокий аналіз можливих сценаріїв помилок аудиторії. Це дозволяє заздалегідь спрогнозувати хибні шляхи розв'язання та підготувати систему уточнювальних запитань (scaffolding). По-третє, робота з ПОН завершується рефлексивним аналізом розроблених сценаріїв у форматі мікрвикладання. Під час презентації здобувачами фрагментів занять їхня робота стає об'єктом спільного критичного розгляду. У межах групового обговорення аналізується автентичність створеного виклику, рівень автономності здобувача та здатність майбутнього вчителя врівноважувати складність завдання з підтримкою мотивації. Аналіз напрацювань здобувачів підтверджує, що інструменти ПОН, системне поєднання фундаментальної підготовки з методичним конструктором та практичною апробацією формують професійну впевненість майбутнього вчителя математики як фахівця, здатного керувати творчим математичним пошуком.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

У статті визначено концептуальні засади впровадження проблемно-орієнтованого навчання як інноваційної технології у фаховій підготовці майбутніх учителів математики. Презентовано авторську методику конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій («алгоритмічної неможливості», «часового обмеження», «методичної нерациональності» тощо), яка на конкретних прикладах математичних дисциплін демонструє механізми стимулювання самостійного пошуку здобувачів. Окреслено особливості впровадження ПОН у процесі викладання математичних дисциплін та викладання методики навчання математики, що засвідчує залежність реалізації технології ПОН від специфіки конкретної навчальної предметної області. Запропоновано поетапність застосування цієї технології: від суб'єктивного розв'язання проблемно-орієнтованих ситуацій у курсах дисциплін математичного циклу до опанування методів їх проєктування в курсі методики навчання математики. Узагальнюючи результати роботи, зазначимо, що представлена авторська методика конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій успішно пройшла етап дослідної перевірки. Логічне продовження дослідження вбачаємо в проєктуванні та реалізації повноцінного педагогічного експерименту, який забезпечить репрезентативне підтвердження результативності запропонованих змін у викладанні математичних дисциплін і методиці навчання математики.

Вважаємо, що впровадження запропонованої авторської методики у фахову підготовку майбутніх учителів математики сприятиме переходу здобувачів освіти від ролі пасивних слухачів до активних дослідників та розробників освітнього контенту, збагачуючи їхній індивідуальний методичний арсенал інноваційними інструментами навчання.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Роботу виконано за відсутності фінансової підтримки.

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Використано Gemini для поліпшення якості мови та перевірки граматики. Автори критично перевірили та відредагували отриманий контент і несуть повну відповідальність за його зміст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Валентьева, Т., Смолянко, Ю., & Семянко, Ю. (2022). Проблемне навчання у закладах вищої освіти як засіб формування професійної компетентності майбутніх педагогів. *Актуальні питання гуманітарних наук*, 49(1), 130–139. <https://epub.chnpu.edu.ua/ispui/handle/123456789/7744>

2. Дмітренко, Н., & Доля, І. (2016). Застосування проблемно-орієнтованого навчання на заняттях з іноземної мови у вищому навчальному закладі. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методи навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*, 46, 166–170. <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/2468>
3. Должковий, С. В., Крижанівський, О. А., Оганезян, А. Г., & Шейко, В. Д. (2022). Використання методу проблемно-орієнтованого навчання в роботі зі студентами-медиками. У *Сучасні тренди розвитку медичної освіти: перспективи і здобутки: матеріали науково-практичної конференції* (с. 94–96). ПДМУ. <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0d16e5f5-0e08-4f24-a061-3246c767577c/content>
4. Дроць, А. І., & Яковлева, О. М. (2025). Проблемно-орієнтовані ситуації на заняттях із математичних дисциплін як механізм формування професійної креативності майбутніх учителів математики. *Креативне мислення як інструмент розвитку успішної особистості під час навчання у ЗВО: збірник матеріалів всеукраїнської науково-методичної конференції з міжнародною участю* (м. Одеса, 20 грудня 2025 р.) (с. 54–56). Одеса: Університет Ушинського. <http://dspace.pdpu.edu.ua/handle/123456789/24547>
5. Кузьмінський, А. І., Тарасенкова, Н. А., & Акуленко, І. А. (2009). *Наукові засади методичної підготовки майбутнього вчителя математики: монографія*. Черкаси: ЧНУ ім. Богдана Хмельницького.
6. Ничкало, Н. Г. (2014). *Розвиток професійної освіти в умовах глобалізаційних та інтеграційних процесів: монографія*. Київ: Видавництво НПУ імені М. П. Драгоманова.
7. Романовський, О., & Лапузіна, О. (2022). Проблемно-орієнтоване навчання та його роль в процесі підготовки майбутніх лідерів-професіоналів у технічних університетах України. *Теорія і практика управління соціальними системами*, (4), 3–14. <https://doi.org/10.20998/2078-7782.2022.4.01>
8. Рудик, Т. О., & Селєзньова, Н. П. (2025). Проблемно-орієнтоване навчання як один з факторів оптимізації математичної підготовки студентів у технічному університеті. *Науковий часопис УДУ імені Михайла Драгоманова*, 104, 112–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series5.2025.104.22>
9. Сисоева, С. О. (1996). *Підготовка вчителя до формування творчої особистості учня: монографія*. Київ: Поліграфкнига.
10. Хмель, Л. Л. (2025). Інноваційне застосування технології проблемно-орієнтованого навчання (Problem Based Learning) для формування компетентностей майбутніх лікарів і провізорів у студентів ВНМУ ім. М. І. Пирогова на кафедрі нормальної фізіології. *Вісник Вінницького національного медичного університету*, 29(1), 118–121. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29\(1\)-21](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29(1)-21)
11. Abassian, A., Safi, F., Bush, S., & Bostic, J. (2020). Five different perspectives on mathematical modeling in mathematics education. *Investigations in Mathematics Learning*, 12(1), 53–65. <https://doi.org/10.1080/19477503.2019.1595360>
12. Altınbaş, Z., Solak, S., & Ertekin, E. (2025). The effect of multiple representations-based and problem-based instruction in linear algebra on pre-service teachers' dimensions of understanding. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 28(2), 145–167. <https://doi.org/10.1007/s10857-025-09696-0>
13. Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481–486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x>
14. Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer Publishing Company. New York. 224 p. <https://app.nova.edu/toolbox/instructionalproducts/edd8124/fall11/1980-BarrowsTamblyn-PBL.pdf>
15. Brownell, J., & Jameson, D. (2004). Problem-based learning in graduate management education: An integrative model and interdisciplinary application. *Journal of Management Education*, 28(5), 558–577. <https://doi.org/10.1177/1052562904266073>
16. Farashahi, M., & Tajeddin, M. (2018). Effectiveness of teaching methods in business education: A comparison study of learning outcomes of lecture, case studies and simulations. *International Journal of Management Education*, 16, 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2018.01.003>
17. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
18. Humenna, L. (2025). Problem-based learning technology as a means of activating the cognitive activity of learners. *Professional Pedagogics*, 2(31), 31–41. <https://doi.org/10.32835/2707-3092.2025.31.31-41>
19. Joo, S. H. (2026). Integrating Problem-Based Learning into a Senior Engineering Design Course: A Sustainability-Focused Approach to Microplastic Removal from Stormwater. *Sustainability*, 18(7), 3391. <https://doi.org/10.3390/su18073391>
20. Ortiz, W., Martinez, R., Tolozano, M., & Vazquez, A. (2025). Problem-based learning through digital environments: an experience in graduate mathematics teacher education. *Formación Universitaria*, 18(1), 143–152. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062025000100143>
21. Korkmaz, G., & Kalayci, N. (2021). Problem and project-based learning as an educational philosophy: A novel conceptual model for higher education. *African Educational Research Journal*, 9, 774–789. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1324144.pdf>
22. Marco, N., & Palatnik, A. (2024). From "learning to vary" to "vary for learning": Teachers learning through collaborative, iterative context-based mathematical problem posing. *The Journal of Mathematical Behavior*, 74, 101156. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2023.101119>
23. Nilson, L. B. (1998). *Teaching at its best: A research-based resource for college instructors*. Jossey-Bass. 408 p. https://www.researchgate.net/publication/247700990_Teaching_at_Its_Best_A_Research-Based_Resource_for_College_Instructors
24. Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), (pp. 5–15). Purdue University Press. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
25. Schwartz, G., Herbst, P., & Brown, A. (2024). Harnessing Asynchronous Digital Simulations of Problem-based Lessons to Support Mathematics Teachers' Professional Development: A Design-based Approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23 (9), 1883–1916. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10514-x>
26. Seidel, L. F., Lewis, J. B., Ritvo, R. A., & Kent, K. E. (2022). Using Problem-Based Learning to Prepare Students and Improve Academic Programs. *Journal of Health Administration Education*, 39, 85–106. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/aupha/ijhae/2022/00000039/00000001/art00006#>
27. Strobel, J., & van Barneveld, A. (2009). When is PBL More Effective? A Meta-synthesis of Meta-analyses Comparing PBL to Conventional Classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 44–58. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1046>
28. Yuhana, Y., & Fajari, L. E. W. (2025). Cross-disciplinary effects of problem-based learning on problem-solving skills in mathematics and beyond: A comprehensive meta-analysis and bibliometric. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), em2568. <https://doi.org/10.29333/ejmste/17345>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Valentieva, T., Smolianko, Yu., & Semianko, Yu. (2022). Probleme navchannia u zakladakh vyshchoi osvity yak zasib formuvannia profesiinoi kompetentnosti maibutnih pedahohiv [Problem-based learning in higher education institutions as a means of forming professional competence of future teachers]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk – Current issues of the humanities*, 49(1), 130–139. <https://epub.chnpu.edu.ua/ispui/handle/123456789/7744>

2. Dmitrenko, N., & Dolia, I. (2016). Zastosuvannia problemno-orientovanoho navchannia na zaniattiakh z inozemnoi movoy u vyshchomu navchalnomu zakladi [Application of problem-based learning in foreign language classes in a higher educational institution]. *Suchasni informatsiini tekhnologii ta innovatsiini metody navchannia v pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy – Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems*, 46, 166–170. <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/2468>
3. Dolzhkovyi, S. V., Kryzhanivskiy, O. A., Ohanezian, A. H., & Sheiko, V. D. (2022). Vykorystannia metodu problemno-orientovanoho navchannia v roboti zi studentamy-medykamy [Using the method of problem-oriented learning in working with medical students]. In *Suchasni trendy rozvytku medychnoi osvity: perspektyvy i zdobutky: materialy naukovo-praktychnoi konferentsii – Modern trends in the development of medical education: prospects and achievements: materials of the scientific and practical conference* (pp. 94–96). PDMU. <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0d16e5f5-0e08-4f24-a061-3246c767577c/content>
4. Drots, A. I., & Yakovlieva, O. M. (2025). Problemno-orientovani sytuatsii na zaniattiakh iz matematychnykh dystsyplin yak mekhanizm formuvannia profesiinoi kreatyvnosti maibutnykh uchyteliv matematyky [Problem-oriented situations in mathematical classes as a mechanism for forming professional creativity of future mathematics teachers]. *Kreatyvne myslennia yak instrument rozvytku uspishnoi osobystosti pid chas navchannia u ZVO: zbirnyk materialiv vseukrainskoi naukovo-metodychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu – Creative thinking as a tool for developing a successful personality during studies in higher education: a collection of materials of the All-Ukrainian scientific and methodological conference with international participation (m. Odesa, 20 hrudnia 2025 r.)* (pp. 54–56). Odesa: Universytet Ushynskoho. <http://dspace.pdpu.edu.ua/handle/123456789/24547>
5. Kuzminskiy, A. I., Tarasenkova, N. A., & Akulenko, I. A. (2009). *Naukovi zasady metodychnoi pidhotovky maibutnoho vchytelia matematyky [Scientific principles of methodological training of future mathematics teachers]*. Cherkasy: ChNU im. Bohdana Khmelnytskoho.
6. Nychkalo, N. H. (2014). *Rozvytok profesiinoi osvity v umovakh hlobalizatsiinykh ta intehratsiinykh protsesiv [Development of professional education in the context of globalization and integration processes]*. Kyiv: Vydavnytstvo NPU imeni M. P. Drahomanova.
7. Romanovskiy, O., & Lapuzina, O. (2022). Problemno-orientovane navchannia ta yoho rol v protsesi pidhotovky maibutnykh lideriv-profesionaliv u tekhnichnykh universytetakh Ukrainy [Problem-based learning and its role in the process of training future professional leaders in technical universities of Ukraine]. *Teoriia i praktyka upravlinnia sotsialnymy systemamy – Theory and practice of social systems management*, (4), 3–14. <https://doi.org/10.20998/2078-7782.2022.4.01>
8. Rudyk, T. O., & Selezniova, N. P. (2025). Problemno-orientovane navchannia yak odyn z faktoriv optymizatsii matematychnoi pidhotovky studentiv u tekhnichnomu universyteti [Problem-based learning as one of the factors of optimizing mathematical training of students in a technical university]. *Naukovyi chasopys UDU imeni Mykhaila Drahomanova – Scientific journal of the Mykhailo Dragomanov USU*, 104, 112–117. <https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series5.2025.104.22>
9. Sysioeva, S. O. (1996). *Pidhotovka vchytelia do formuvannia tvorchoi osobystosti uchnia [Teacher training for the formation of a student's creative personality]*. Kyiv: Polihrafknyha.
10. Khmel, L. L. (2025). Innovatsiine zastosuvannia tekhnologii problemno-orientovanoho navchannia (Problem Based Learning) dlia formuvannia kompetentnosti maibutnykh likariv i provizoriv u studentiv VNMU im. M. I. Pyrohova na kafedri normalnoi fiziologii [Innovative application of problem-based learning technology (Problem Based Learning) for the formation of competencies of future doctors and pharmacists in students of VNMU named after M. I. Pirogov at the Department of Normal Physiology]. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnogo medychnoho universytetu – Bulletin of Vinnytsia National Medical University*, 29(1), 118–121. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29\(1\)-21](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29(1)-21)
11. Abassian, A., Safi, F., Bush, S., & Bostic, J. (2020). Five different perspectives on mathematical modeling in mathematics education. *Investigations in Mathematics Learning*, 12(1), 53–65. <https://doi.org/10.1080/19477503.2019.1595360>
12. Altınbaş, Z., Solak, S., & Ertekin, E. (2025). The effect of multiple representations-based and problem-based instruction in linear algebra on pre-service teachers' dimensions of understanding. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 28(2), 145–167. <https://doi.org/10.1007/s10857-025-09696-0>
13. Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481–486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x>
14. Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer Publishing Company. New York. 224 p. <https://app.nova.edu/toolbox/instructionalproducts/edd8124/fall11/1980-BarrowsTamblyn-PBL.pdf>
15. Brownell, J., & Jameson, D. (2004). Problem-based learning in graduate management education: An integrative model and interdisciplinary application. *Journal of Management Education*, 28(5), 558–577. <https://doi.org/10.1177/1052562904266073>
16. Farashahi, M., & Tajeddin, M. (2018). Effectiveness of teaching methods in business education: A comparison study of learning outcomes of lecture, case studies and simulations. *International Journal of Management Education*, 16, 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2018.01.003>
17. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
18. Humenna, L. (2025). Problem-based learning technology as a means of activating the cognitive activity of learners. *Professional Pedagogics*, 2(31), 31–41. <https://doi.org/10.32835/2707-3092.2025.31.31-41>
19. Joo, S. H. (2026). Integrating Problem-Based Learning into a Senior Engineering Design Course: A Sustainability-Focused Approach to Microplastic Removal from Stormwater. *Sustainability*, 18(7), 3391. <https://doi.org/10.3390/su18073391>
20. Ortiz, W., Martinez, R., Tolozano, M., & Vazquez, A. (2025). Problem-based learning through digital environments: an experience in graduate mathematics teacher education. *Formación Universitaria*, 18(1), 143–152. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062025000100143>
21. Korkmaz, G., & Kalayci, N. (2021). Problem and project-based learning as an educational philosophy: A novel conceptual model for higher education. *African Educational Research Journal*, 9, 774–789. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1324144.pdf>
22. Marco, N., & Palatnik, A. (2024). From "learning to variate" to "variate for learning": Teachers learning through collaborative, iterative context-based mathematical problem posing. *The Journal of Mathematical Behavior*, 74, 101156. <https://doi.org/10.1016/j.imathb.2023.101119>
23. Nilson, L. B. (1998). *Teaching at its best: A research-based resource for college instructors*. Jossey-Bass. 408 p. https://www.researchgate.net/publication/247700990_Teaching_at_Its_Best_A_Research-Based_Resource_for_College_Instructors
24. Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1). (pp. 5–15). Purdue University Press. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
25. Schwartz, G., Herbst, P., & Brown, A. (2024). Harnessing Asynchronous Digital Simulations of Problem-based Lessons to Support Mathematics Teachers' Professional Development: A Design-based Approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23 (9), 1883–1916. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10514-x>
26. Seidel, L. F., Lewis, J. B., Ritvo, R. A., & Kent, K. E. (2022). Using Problem-Based Learning to Prepare Students and Improve Academic Programs. *Journal of Health Administration Education*, 39, 85–106. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/aupha/jhae/2022/00000039/00000001/art00006#>

27. Strobel, J., & van Barneveld, A. (2009). When is PBL More Effective? A Meta-synthesis of Meta-analyses Comparing PBL to Conventional Classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 44–58. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1046>
28. Yuhana, Y., & Fajari, L. E. W. (2025). Cross-disciplinary effects of problem-based learning on problem-solving skills in mathematics and beyond: A comprehensive meta-analysis and bibliometric. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), em2568. <https://doi.org/10.29333/ejmste/17345>

| Матеріал надійшов до редакції: 21.04.2026 р. | Прийнято до друку: 05.06.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |

