

УДК 373.3/.5.016:51:37.091.12:005.962.131

Модель математичної компетентності вчителя фізики

MATHEMATICAL COMPETENCE MODEL OF A PHYSICS TEACHER

КІРМАН Вадим – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри математичної, природничої та технологічної освіти, Комунальний заклад вищої освіти «Дніпровська академія неперервної освіти» Дніпропетровської обласної ради», вул. Володимира Антоновича, 70, м. Дніпро, 49106, Україна

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8107-6618>

РОМАНЕЦЬ Олена – кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри математичної, природничої та технологічної освіти, Комунальний заклад вищої освіти «Дніпровська академія неперервної освіти» Дніпропетровської обласної ради», вул. Володимира Антоновича, 70, м. Дніпро, 49106, Україна

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5439-3749>

ЧАУС Ганна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри математичної, природничої та технологічної освіти, Комунальний заклад вищої освіти «Дніпровська академія неперервної освіти» Дніпропетровської обласної ради», вул. Володимира Антоновича, 70, м. Дніпро, 49106, Україна

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6581-6359>

DOI

Анотація. Метою даної статті є аналіз поняття структури математичної компетентності вчителя фізики та астрономії. При дослідженні використовувалися теоретичні та експериментальні методи, а саме: методи системного аналізу, педагогічного моделювання, перевірки статистичних гіпотез на базі вибірових досліджень, дескриптивної статистики. У результаті дослідження показано, що математична діяльність вчителя фізики, яка визначається діяльними компонентами предметно-методичної компетентності містить 20 напрямів. Для кожного з цих напрямів встановлено індекси важливості, що відображають частоту звернення до відповідного напрямку в реальній роботі вчителя. Побудовано структурну модель математичної компетентності вчителя фізики. Відповідна модель містить блоки предметно-методичної та аналітичної діяльності, між якими встановлено зворотний зв'язок, інформаційними зв'язками ці блоки зв'язано з блоками аналітичної, операційної та гносеологічної функцій, блоком добору типів математичної діяльності, та блоками напрямів виду математичної діяльності. Проведено експериментальне дослідження методики вимірювання індексів рівня математичної компетентності, знайдено проблемні математичні теми для вчителів фізики. До них належать перетворення виразів, елементи диференціального числення, геометричні задачі, векторно-координатний метод. Практичне значення дослідження полягає в тому, що отримані результати дозволяють удосконалити систему післядипломної перепідготовки вчителів на курсах підвищення кваліфікації, спроектувати та запровадити методичну систему розвитку математичної компетентності вчителів фізики в системі неперервної педагогічної освіти. Також проведений у дослідженні аналіз дозволяє сформулювати напрями удосконалення при підготовці майбутніх вчителів фізики в класичних та педагогічних університетах. До основних висновків дослідження можна віднести базовий факт, що саме середній рівень математичної компетентності є необхідним для реалізації функцій предметно-методичної компетентності вчителя фізики, а також, що не менше 30% вчителів фізики потребують додаткової математичної освіти для подальшої ефективної роботи. Подальші розвідки у напрямку даного дослідження пов'язані з впровадженням та аналізом ефективності методичної системи розвитку математичної компетентності вчителів фізики в системі неперервної педагогічної освіти.

Ключові слова: математична компетентність, професійна компетентність, вчитель фізики та астрономії, післядипломна освіта, педагогічна освіта.

Summary. *The purpose of this article is to analyze the concept of the physics and astronomy teacher's mathematical competence structure. Theoretical and experimental methods were used in the research including methods of systemic analysis, pedagogical modeling, testing of statistical hypotheses based on selective studies and descriptive statistics. The research results reveal that the mathematical activity of physics teachers, defined by functional components of subject-methodological competence, encompasses 20 directions. The importance indices were determined for each of these directions, reflecting the frequency of their application in teachers' real work. A structural model of the physics teacher's mathematical competence was constructed. This model includes blocks of subject-methodological and analytical activities, interconnected by feedback loops. Informational connections link these blocks with blocks of analytical, operational, and epistemological functions, as well as with blocks related to the selection of mathematical activities types and directions of mathematical activity. An experimental study of the methodology for measuring the indices of mathematical competence levels was conducted identifying problematic mathematical topics for physics teachers. These topics include expression transformations, elements of differential calculus, geometric problems, and vector-coordinate methods. The practical significance of research lies in the fact that the obtained results facilitate of the postgraduate training system enhancement for teachers in advanced courses, as well as the design and implementation of a methodological system for the development of mathematical competence among physics teachers within the framework of continuous pedagogical education. The analysis conducted in the research also permits the identification of directions for improvement in the training of future physics teachers in classical and pedagogical universities. The main research conclusions, it is noteworthy that an intermediate level of mathematical competence is essential for realizing the functions of subject-methodological competence among physics teachers. Furthermore, it was established that at least 30% of physics teachers require additional mathematical education for their further effective work. Future research in this domain will be focused on the implementation and analysis of the effectiveness of the methodological system for the development of mathematical competence among physics teachers within the framework of continuous pedagogical education.*

Key words: *mathematical competence, professional competence, physics and astronomy teacher, postgraduate education, pedagogical education.*

Вступ. Глобалізована перебудова освітньої системи України призводить до інноваційних змін в освіті і водночас вимагає не тільки перегляду чинних освітніх програм, але і перегляду підходів до підвищення кваліфікації сучасного педагога, учителя фізики зокрема. У сфері власної освітньої траєкторії, постійного підвищення предметної кваліфікації, побудові і формуванню напрямів професійного розвитку та неперервної самоосвітньої діяльності важливим є моніторинг професійних компетентностей вчителів, ці питання були попередньо розглянуті в роботах [7; 8; 9].

Учителі фізики є одними з найактивніших «користувачів» математики, оскільки математичний апарат – невід’ємна частина фізичної теорії і один із базисів опису фізичних явищ. Учитель фізики повинен мати глибоке розуміння математичних концепцій. Базисним елементом є володіння математичними принципами та закономірностями, які стосуються фізичних явищ і законів. Елементи алгебри, геометрії, тригонометрії, диференціальних рівнянь тощо, повинні бути «перекладені» на зрозумілу учневі мову по відношенню до фізичних явищ, що зазначено в статтях [14; 21] і є великим викликом для здобувачів освіти. Сучасний фахівець повинен бути творчим у виборі методів розв’язання та вміти аналізувати й інтерпретувати отримані результати. Бути здатним застосовувати математичні методи та інструменти для розв’язання фізичних задач. Це включає вміння проводити математичні обчислення, використовувати символічні та чисельні методи, проводити аналіз інтегралів, диференціальних рівнянь тощо. За сучасними освітніми потребами вчителю фізики слід мати досвід використання комп’ютерних програм і пакетів для моделювання фізичних процесів та виконання експериментів. Він повинен бути знайомий з програмами, такими як MATLAB, Python, Mathematica тощо та вміти використовувати їх

для аналізу та візуалізації даних. Ці критерії допомагають оцінити рівень математичної компетентності вчителя фізики та визначити його готовність до ефективного викладання математичних аспектів фізики.

Аналіз останніх досліджень. Учителі з високим рівнем математичної підготовки здатні краще пояснювати фізичні концепції та застосовувати математичні методи в розв’язанні задач, що підтверджується чисельними дослідженнями. Так дослідження [10; 15; 16; 17; 19; 20] показали, що здобувачі освіти краще розуміють сутність фізичні концепції, коли вчитель використовує математичні методи як «мову» для пояснення. Наприклад, за допомогою векторної алгебри здобувачам освіти пропонують уявити розподіл сили, або рух у тривимірному просторі.

Ці дослідження підкреслюють важливість математичної компетентності вчителя фізики та її позитивний вплив на розуміння студентами фізичних концепцій, що також зазначається у роботах [11; 18]. Учителі, які розвивають свою математичну компетентність, можуть стати більш ефективними та сприятимуть глибокому розумінню здобувачами фізики.

Тому математична компетентність є однією з основних складових професійної компетентності вчителя фізики. Ми погоджуємося з роботою М. Головань [2, с. 39], де математичну компетентність визначають як «інтегративне утворення особистості, що поєднує в собі математичні та загальнонавчальні знання, уміння, навички, досвід математичної та загальнонавчальної діяльності, особистісні якості, які обумовлюють прагнення, готовність і здатність розв’язувати проблеми і завдання, що виникають у реальних життєвих ситуаціях і потребують використання математичних методів розв’язання, усвідомлюючи при цьому значущість предмету і результату діяльності». У роботі Я. Чкана. [12, с. 80] приділено увагу критеріям

сформованості математичної компетентності серед яких він виділяє: «вибір критеріїв має бути узгоджений зі структурою математичної компетентності й відображати стан сформованості кожного її компонента; значення кожного критерію має визначатися на основі його показників; їх кількість повинна бути достатньою для висновку про сформованість відповідного критерію; виявлення показників має здійснюватись із залученням спеціальних методик, які можуть бути авторські або розроблені іншими вченими й адаптовані до потреб дослідження».

До критеріїв сформованості математичної компетентності вчителів фізики дослідники, наприклад [15, с. 8], відносять: розуміння математичних концепцій, вчитель повинен мати чітке розуміння математичних понять, теорій та концепцій, знати основні математичні терміни та їх взаємозв'язок; здатність до застосування математичних методів, особа повинна бути здатною застосовувати математичні методи, алгоритми та процедури для розв'язання реальних задач, вміти використовувати математику для моделювання та аналізу реальних ситуацій і фізичних явищ; критичне мислення, вчитель повинен мати розвинене критичне мислення щодо математичних задач і ситуацій, здатен аналізувати і оцінювати математичні розв'язки, виявляти помилки і неточності, а також обґрунтовувати свої висновки; проблемне мислення, вміти розв'язувати математичні проблеми, що потребують творчого підходу та вміння застосовувати різні математичні методи для досягнення розв'язку; комунікація, вчителі повинні бути здатними чітко висловлювати свої математичні думки, ідеї та розв'язки усно та письмово, пояснювати математичні концепції і процедури; використання технологій, необхідно вміти використовувати сучасні технології, такі як комп'ютерні програми та калькулятори, для виконання математичних обчислень

На основі аналізу попередніх досліджень можна зробити висновок, що питання формування математичної компетентності викладачів природничої освітньої галузі, і зокрема, розробки критеріального апарату сформованості у вчителів фізики є актуальною проблемою. Ця проблематика піднімається також у статтях вітчизняних та зарубіжних науковців [3; 2; 12; 13; 14; 15; 22]. Водночас у відомих нам роботах не аналізується математична компетентність вчителя фізики в контексті його педагогічної діяльності, також не аналізується процес розвитку математичної компетентності працюючих вчителів фізики.

Мета статті. Метою статті є аналіз математичної компетентності вчителя фізики та астрономії. Для реалізації мети у дослідженні мають бути вирішеними такі задачі: визначення математичної компетентності вчителя фізики та астрономії в системі його професійних компетентностей, обґрунтування моделі математичної компетентності вчителя фізики, розробка підходів до ідентифікації параметрів моделі.

Виклад основного матеріалу. У нашому дослідженні ми спираємося на розроблені нами концептуальні підходи у роботах [4; 6]: ми вважаємо, що вчитель фізики, як і вчитель інших предметів природничої освітньої галузі, здійснює математичну діяльність

у трьох функціях: операційній, гносеологічній та аналітичній. Під аналітичною функцією ми розуміємо застосування математико-статистичних задач для аналізу результативності навчання або під час виконання вчителем дослідницької роботи в галузі теорії та методики навчання фізики та астрономії.

Операційна функція передбачає безпосереднє використання алгебри, геометрії, основ математичного аналізу, теорії ймовірностей та математичної статистики при розв'язуванні шкільних задач з фізики та астрономії, використання математичного моделювання та статистичного аналізу в наукових дослідженнях та базових експериментальних задачах, навчання здобувачів освіти елементам математичного моделювання та статистичного аналізу. Звернемо увагу, що використання операційної функції для вчителя фізики іноді виконується транзитно, тобто може відображатися в кінцевому результаті при навчанні хімії, біології, географії.

Гносеологічна функція математичної діяльності вчителя фізики не передбачає безпосереднього використання математичної техніки, але включає математичну інтерпретацію ключових фізичних понять, які можуть далеко виходити за межі шкільної програми з математики. Це обумовлено глибинною математичною насиченістю ключових понять сучасної фізики, необхідністю їх пропедевтики та науково-популярною діяльністю. Далі ми спираємося на класифікацію роботи [7, с. 51–53], де нами запропоновано види пропедевтичної діяльності вчителя: по відношенню до навчальних програм; по відношенню до горизонтів об'єктів засвоєння; по відношенню до предмета навчання; по відношенню до відведеного часу. А саме, що до навчальних програм, виділяємо нормативний та варіативний компоненти пропедевтики, для горизонтів об'єктів засвоєння – тактичний, оперативний, стратегічний, перспективний компоненти, по відношенню до заданого предмету – автопропедевтику, експорт-пропедевтику, імпорт-пропедевтику, для виділеного навчального часу – первинну, формуючу, активну.

Принциповою є гносеологічна функція математичної діяльності вчителя фізики. Вона є впливовою на різні компоненти пропедевтики, зокрема варіативний, стратегічний та перспективний імпорт-пропедевтиці математичних понять. В якості яскравого прикладу можна навести поняття векторного та скалярного полів та їх характеристик, які природно виникають у курсі фізики, але далеко виходять за межі шкільної програми з математики, поняття групи перетворень (перетворення Галілея, перетворення Лоренца при поглибленому вивченні фізики), пропедевтика найважливіших питань ергодичної теорії виникає при вивченні основ молекулярної фізики та термодинаміки, елементи електричних ланцюгів обумовлюють пропедевтику прикладної теорії графів, нарешті, вивчення основ квантової механіки та її інтерпретацій дозволяють проводити пропедевтику основ функціонального аналізу, а ознайомлення з ідеями космології з поняттями диференціальної геометрії та топології многовидів. Не можна не сказати, що практично увесь шкільний курс фізики включає стратегічну імпорт-пропедевтику теорії динамічних систем.

Таблиця 1

Таблиця діяльнісної відповідності

№	Напрямок математичної діяльності задач / Види професійної діяльності вчителя фізики	Організація дослідно-експериментальної діяльності учнів	Навчання кінематики	Навчання динаміки механічних систем	Навчання молекулярної фізики та термодинаміки	Навчання оптики	Навчання електродинаміки	Навчання елементів квантової фізики	Навчання елементів атомної, ядерної фізики та фізики елементарних частинок	Навчання основам астрономії та астрофізики	Аналітична діяльність
1	Операції з числами,	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
2	Перетворення виразів	2	3	3	3	2	3	2	2	3	2
3	Основи математичного моделювання	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
4	Елементарні методи аналізу функції	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3
5	Алгебраїчні та трансцендентні рівняння	2	3	3	3	1	2	2	2	3	1
6	Алгебраїчні та трансцендентні нерівності	1	2	2	2	1	3	1	1	1	1
7	Основи математичного аналізу	1	2	2	1	0	2	0	2	1	0
8	Диференціальне та інтегральне числення	1	3	3	2	1	3	1	2	3	1
9	Оптимізаційні задачі, основи варіаційного числення	2	3	3	2	3	2	1	1	2	0
10	Планіметрія	1	3	3	3	3	3	1	1	3	0
11	Стереометрія	0	2	2	2	3	3	0	0	3	0
12	Векторно-координатний метод	1	3	3	2	2	3	1	2	3	0
13	Основи теорії ймовірностей	3	0	0	3	0	0	3	3	0	1
14	Основи математичної статистики	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3
15	Графи	1	0	0	0	0	2	0	1	0	1
16	Динамічні системи	2	3	3	1	1	3	1	1	3	2
17	Основи диференціальної геометрії	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0
18	Групи перетворень	0	1	1	0	0	1	1	2	0	0
19	<i>Основи обчислювальної математики та асимптотичних методів.</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
20	Основи математичної (формальної) логіки та теорії алгоритмів	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1

Таблиця 2

Основні функціональні залежності в фізиці

Тип функції	Приклад застосування
Лінійна функція, арифметична прогресія	Рівномірний рух, зміна швидкості при рівноприскореному русі
Квадратична функція	Рівноприскорений рух, рух тіла, кинутого під кутом до горизонту
Степенева залежність	Термодинаміка, оптика (факультативно)
Показникова функція, геометрична прогресія	Радіоактивний розпад, вибухові процеси
Логарифмічна функція	Радіоактивний розпад, астрономія (яскравість зірок)
Тригонометричні функції	Коливальні процеси

Спроба дати означення математичної компетентності вчителя фізики, як і для всіх вчителів природничої освітньої галузі пов'язана з тим, що навчально-методична діяльність вчителя фізики реалізується через операційну, гносеологічну та аналітичну функції. Отже, математичну компетентність вчителя фізики та астрономії можна визначити як інтегральну якість особистості, що полягає у здатності та готовності використовувати математику для здійснення операційних, гносеологічних та аналітичних функцій діяльності вчителя фізики та астрономії, пов'язаної з навчанням.

Для зв'язку між професійним та математичними видами діяльності вчителя ми формуємо так звану таблицю діяльнісної відповідності (таблиця 1). Саме такий підхід застосовано нами в роботі [4]. Числа на перетині відповідного рядочка та стовпчика – це рівень важливості сфери математичної діяльності для здійснення основної професійної діяльності вчителя фізики, а саме: 0 – не важливо, 1 – скоріше не важливо, ніж важливо, 2 – скоріше важливо, ніж не важливо, 3 – важливо.

Окремо необхідно сказати про центральну, на нашу думку, змістову лінію курсу математики – лінію функцій. Очевидно, що вона знаходить найважливіше місце при проектуванні змісту курсу математики на курс фізики. Усі класи елементарних функцій відображаються при вивченні фізики (Таблиця 2).

Спираючись на таблицю 1 нами визначено ранги важливості математичної діяльності вчителя фізики. Ранг важливості – це сума індексів важливості відповідного типу математичної діяльності (сума індексів у рядочках) (Рис. 1).

Ми пропонуємо проведення класифікації видів математичної діяльності вчителя фізики та астрономії в залежності від сумарного рангу важливості. Так виділяємо види діяльності рівня 1 (найважливіший) як такі, де рівень важливості перевищує 20. Ці види діяльності формують базисний рівень компетентності. Для середнього рівня компетентності включаємо види діяльності ж важливістю не меншу за 15, нарешті, високий рівень компетентності включає усі види діяльності.

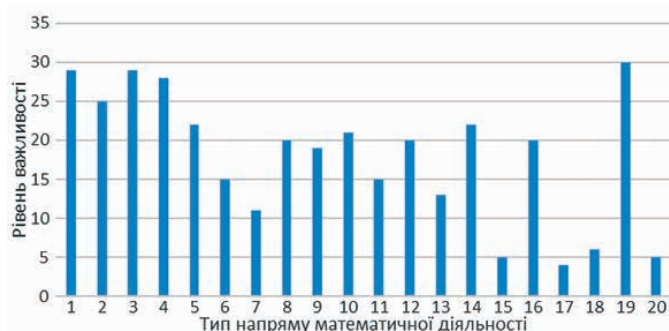


Рис. 1. Ранжування типів математичної діяльності вчителя фізики за таблицею діяльнісної відповідності в залежності від сумарної важливості

Отже, математична компетентність учителя фізики і астрономії базується на ядрі – базисному рівні компетентності, який ми позначаємо РІВ (1), також може включати діяльність на середньому рівні (РІВ (2)) та високому (РІВ (3)). При побудові моделі математичної компетентності вчителя фізики, ми будемо спиратися на розроблену нами відповідну модель [4] для вчителя

біології, але в ній виокремлюються компоненти РІВ(2) та РІВ (3), а також деталізується добір компонентів математичної діяльності для кожного рівня (Рис.2).

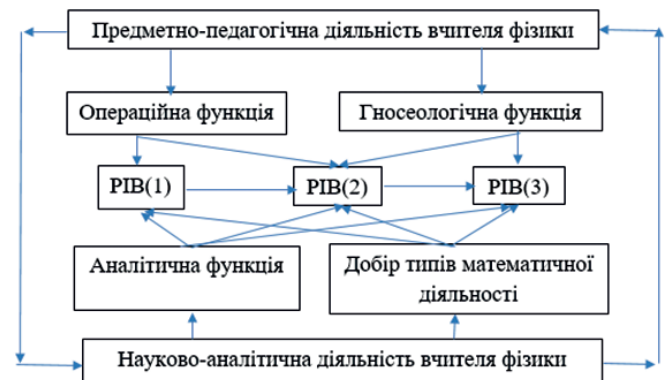


Рис. 2. Схема моделі математичної компетентності вчителя фізики

Ще раз звернемо увагу на відкритість моделі, наявність зворотного зв'язку між блоками «Предметно-педагогічна діяльність учителя фізики» та «Науково-аналітична діяльність вчителя фізики». Звернемо увагу також, що операційна функція не торкається додаткових компонент РІВ(3), відповідно, гносеологічна функція не пов'язана з базисним рівнем. Можна чітко стверджувати, що визначальним для визначення рівня математичної компетентності вчителя природничої освітньої галузі є ядро є ядро. Але для вчителів фізики, ми вважаємо необхідним рівень РІВ(2). Саме для цього рівня і проводимо вимірювання математичної компетентності.

Для цього, аналогічно роботам [4; 6] розглядаємо рівневий індикатор математичної компетентності. Пропонується 20 типів задач, які відображають типові задачі РІВ(2). А саме: 1) задачі на дії з числами; 2) задачі на перетворення алгебраїчних виразів; 3) задачі на створення моделей у вигляді алгебраїчних рівнянь; 4) розв'язання рівнянь та нерівностей; 5) задачі на графічний аналіз функціональних залежностей; 6) дослідження монотонності елементарними методами; 7) найпростіші перетворення тригонометричних виразів; 8) елементарний аналіз тригонометричних функцій; 9) задачі з показниковою функцією; 10) послідовності та прогресії; 11) обчислення похідної; 12) обчислення визначеного інтегралу; 13) комбінаторно-ймовірнісна задача; 14) задачі на базові планіметричні уявлення; 15) планіметрична задача на обчислення; 16) задача на основі векторної алгебри; 17) задача на основні поняття стереометрії; 18) задача на метричні співвідношення в многогранниках; 19) задача на метричні співвідношення в тілах обертання; 20) задача на використання методу координат. Для обчислення рівневого індикатора нами використовувалася методика, що описано в роботах [4; 5; 6].

Тестові завдання було запропоновано 86 учителям фізики, що проходили курси підвищення кваліфікації у Дніпровській академії неперервної освіти. У зв'язку з рівномірністю проходженнями вчителями області відповідних курсів можна вважати, що вибірка є репрезентативною для генеральної сукупності вчителів фізики регіону. Загальний результат вимірювань зображено на Рис.3



Рис. 3. Розподіл значень оцінки індексу математичної компетентності вчителів фізики на середньому рівні

Середнє значення для розподілу дорівнює – 0,59, медіана – 0,6, середнє квадратичне відхилення – 0,25. Як бачимо, для розподілу єдиний модальний інтервал 0,5-0,75. 50-відсотковий бар'єр не подолали приблизно 30% респондентів.

За діаграмою складності (Рис.4) відображено відсоток респондентів, які розв'язали відповідні завдання.

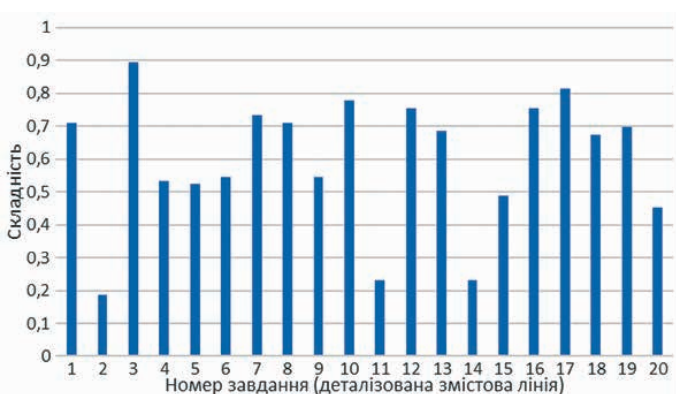


Рис. 4. Діаграма складності

Найскладнішими для вчителів фізики виявилися завдання на перетворення алгебраїчних виразів (2), обчислення похідної (11), планіметрична задача на базові поняття планіметрії (14). Виникли у великій кількості вчителів проблеми з геометричними задачами на обчислення та застосування векторно-координатного методу.

Нами проведено спробу дослідити кореляційний зв'язок значення індексу математичної компетентності від педагогічного стажу, але вже наочний аналіз корелограми «педагогічний стаж- первинні бали» ілюструє відсутність такої кореляційної залежності (Рис.4).

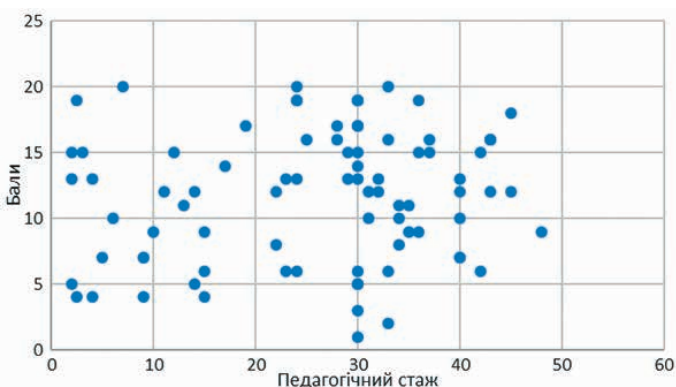


Рис. 5. Корелограма «педагогічний стаж – первинні бали»

Водночас, цікаво перевірити гіпотезу про незалежність значення оцінки індикатора математичної компетентності від педагогічного стажу. Дескриптивний аналіз (Рис. 5) ставить під сумнів цю гіпотезу.

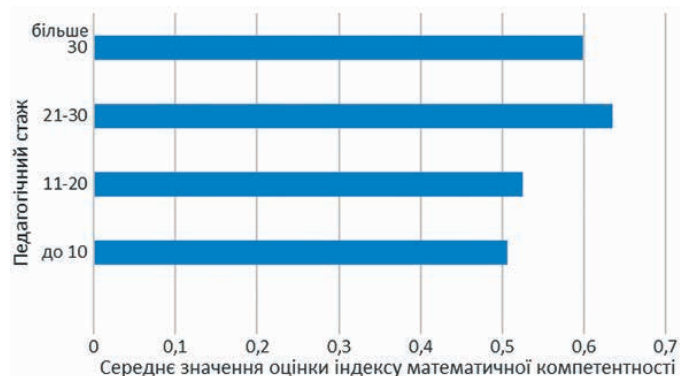


Рис. 6. Залежність значень середніх оцінок індикатора математичної грамотності РІВ(2) від педагогічного стажу

Має сенс розглянути дві вікові групи: 0-20 більше 20 років. Дані по цим групам відображено в таблиці спряженості (таблиця 3)

Таблиця 3

Таблиця спряженості для аналізу залежності індексу математичної компетентності від педагогічного стажу

Педагогічний стаж	Діапазони набраних первинних балів				Усього
	0-5	6-10	11-15	16-20	
0-20	6	6	9	3	24
Більше 20	6	12	25	19	62
Усього	12	18	34	22	86

Розрахунки дають значення статистики Пірсона 5,44, критичне значення розподілу Пірсона на рівні значущості 0,05 зі ступенем вільності 3 дорівнює 7,82, таким чином гіпотеза про незалежність не відхиляється. Такі ж самі результати ми отримали для вчителів географії [6, с. 48–49] та біології [4, с. 108]

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок. Математична компетентність учителя фізики є складовою предметно-методичної компетентності вчителя фізики, зорієнтованої на виконання базової діяльності вчителя в аспекті операційної, гносеологічної та аналітичної функцій. Високий рівень математичної компетентності вчителя фізики та астрономії є необхідною умовою для якісного викладання свого предмета, реалізації міжпредметних зв'язків, організації науково-пошукової діяльності здобувачів освіти та самого вчителя. Зміст та структуру математичної компетентності вчителя фізики та астрономії визначають компоненти діяльності (трудові функції), що входять до предметно-методичної компетентності вчителя. З'ясовано, що для вчителя фізики принципово значення має гносеологічна функція його математичної діяльності. Тому при градації математичної компетентності на базовий, середній та високий рівень, показано, що для вчителя фізики необхідним є середній рівень математичної компетентності.

Вимірювання значень індикаторів рівня математичної компетентності вчителів фізики дає можливість оцінити ймовірність розв'язування задач базового та середнього рівня фахівцем. Нами встановлено, що приблизно 30% учителів фізики можуть розв'язувати задачі середнього рівня з ймовірністю, що не перевищує 0,5. Цікаво, що схожий відсоток фахівців, що мають математичні проблеми встановлено нами для вчителів біології, хоча зміст математичної компетентності вчителів фізики та біології, очевидно, різний. Показано, що рівень математичної компетентності вчителів фізики не залежить від педагогічного стажу.

Виявлено «проблемні точки» математичної компетентності вчителів фізики. До них, як це не дивно, відноситься перетворення виразів, обчислення похідних, задачі синтетичної та аналітичної геометрії. Ми вважаємо, що відповідні проблеми треба вирішувати на даний момент в системі післядипломної педагогічної освіти посиленням математичної складової курсів підвищення кваліфікації вчителів фізики, додавши в них відповідні тематичні розділи. У зв'язку з цим, подальші дослідження, в основному мають бути пов'язані з методичними системами, впровадженням та аналізом ефективності методичних систем розвитку математичної компетентності вчителів фізики.

Список використаних джерел

1. Бібік Г. Діагностика стану готовності вчителів математики і фізики до формування в учнів ключових компетентностей засобами міжпредметних зв'язків. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Педагогіка, соціальна робота*, 2009. Вип. 16–17. С. 21–23.
2. Головань М. С. Математична компетентність: сутність та структура. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету*, 2014. № (1). С. 35–39.
3. Жигір В. І. Оцінювання професійної компетентності фахівця як фактор його формування. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки*, 2014. № 2. С. 40–47.
4. Кірман В., Чаус Г. Структурно-параметрична модель математичної компетентності вчителя біології та підходи до її ідентифікації. *Актуальні питання природничо-математичної освіти*, 2020. Вип.1 (15). С. 100–112.
5. Кірман В. К. Векторна модель математичної компетентності учителя математики та підходи до її ідентифікації. *Актуальні питання природничо-математичної освіти*, 2017. № 2 (10). С. 94–101.
6. Кірман В. К., Соколова Е. Т. (2020). Системний аналіз математичної компетентності вчителя географії. *Наукові записки. Серія: педагогіка*, 2020. № 1. С. 41–51.
7. Кірман В. К. Формування готовності до пропедевтичної діяльності вчителів математики та природничих дисциплін. *Проблеми розвитку професійних компетентностей вчителів природничо-математичного напрямку: збірник тез доповідей Всеукраїнської наук.-практ. конф.*, (Дніпро, 23 грудн. 2020 р.). Дніпро: КЗВО «ДАНУ» ДОР», 2020. С. 51–54.
8. Кочерга Є., Чаус Г., Кірман В., Романець О. Особистісний компонент професійної компетентності вчителя. *Освітні інновації: філософія, психологія, педагогіка: збірник наукових статей: у 2 т.*, 2020. Т. 2. С. 289–292.
9. Кочерга Є., Чаус Г., Романець О. (2020). Розвиток професійної компетентності вчителів природничих дисциплін на курсах підвищення кваліфікації. *Вересень. Науково-методичний, інформаційно-освітній журнал*, 2020. Т. 4. № 2–3 (85–86). С. 54–60.
10. Кулик Л. О., Ляшенко Ю. О. Формування інформаційно-комунікаційної компетентності майбутніх вчителів фізики на лабораторних заняттях зі «Шкільного курсу фізики та методики його викладання». *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*, 2017. Вип. 11 (I). С. 81–86.
11. Ніколаєв О. Формування предметної компетентності майбутнього вчителя фізики. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*, 2013. Вип. 4 (II). С. 170–174.
12. Чкана Я. О. Визначення рівнів сформованості математичної компетентності майбутніх вчителів математики. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 3: Фізика і математика у вищій і середній школі: зб. наук. праць*, 2017. № 19. С. 78–86.
13. Csapó B., et al. *Mathematical Competence and Teaching Physics: A Study of High School Physics Teachers*, 2011.
14. Bing T. J., Redish E. F. Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2009. № 5 (2).
15. Hestenes D. Modeling methodology for Physics teachers. *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education* (College Park, August), 1996. URL: https://www.researchgate.net/publication/243779065_Modeling_methodology_for_Physics_teachers (accessed: 21.08.2023).
16. De Lange J. Using and applying mathematics in education. In K. C. A. J. Bishop, C. Keitel, J. Kilpatrick, & C. Laborde (Eds.), *International Handbook of Mathematics Education (Vol. 1)*. Dordrecht: Kluwer, 1996.
17. Nilsen T., Angell C., & Grønmo L. S. Mathematical competencies and the role of mathematics in physics education: A trend analysis of TIMSS Advanced 1995 and 2008. *Acta Didactica Norge*, 2013. № 7 (1). P. 6. URL: <https://doi.org/10.5617/ADNO.1113> (accessed: 21.08.2023).
18. Niss M. Mathematical competencies and the learning of mathematics: the Danish KOM project. Paper presented at the 3rd Mediterranean Conference on Mathematical Education, A. Gagatsis & S. Papastavridis (Eds.), New York, 2003.
19. Paramata Y. Science teacher competence to design active learning. *Physics Education*, 2015. P. 277–281.
20. Rebello N. S., Cui L., Bennett A. G., Zollman D. A., & Ozimek D. J. Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. In D. H. Jonassen (Ed.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2007.
21. Redish E. F. Problem solving and the use of math in physics courses. 2006.
22. Uhden O., Karam R., Pietrocola M., & Pospiech G. Modelling Mathematical Reasoning in Physics Education. *Science & Education*, 2011. P. 1–22.

References

1. Bibik H. (2009). Diahnostyka stanu hotovnosti vchyteliv matematyky i fizyky do formuvannya v uchniv kluchovykh kompetentnosti zasobamy mizhpredmetnykh zviazkiv [Diagnosis of the readiness of mathematics and physics teachers for developing students' key competencies through interdisciplinary connections]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seria: Pedagogika, sotsialna robota – Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University. Series: Pedagogy, social work*, 16–17, 21–23 [in Ukrainian].
2. Holovan M. S. (2014). Matematychna kompetentnist: sutnist ta struktura [Mathematical competence: essence and structure]. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu – Scientific Bulletin of the East European National University*, (1), 35–39 [in Ukrainian].
3. Zhyhir V. I. (2014). Otsiniuvannya profesiinoi kompetentnosti fakhivtsia yak faktor yoho formuvannya [Assessment of professional competence of a specialist as a factor of its formation]. *Naukovi zapysky Berdianskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu. Seria: Pedahohichni nauky – Scientific notes of Berdyan State Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences*, 2, 40–47 [in Ukrainian].
4. Kirman V., & Chaus G. (2020). Strukturno-parametrychna model matematychnoi kompetentnosti vchytelia biolohii ta pidkhody do yii identyfikatsii [Structural-parametric model of mathematical competence of a biology teacher and approaches to its identification]. *Aktualni pytannia pryrodnycho-matematychnoi osvity – Current issues of science and mathematics education*, 1(15), 100–112 [in Ukrainian].
5. Kirman V. K. (2017). Vektorna model matematychnoi kompetentnosti uchytelia matematyky ta pidkhody do yii identyfikatsii [Vector Model of the Mathematical competence of the Mathematics Teachers and Approaches to its Identification. *Current issues of natural and mathematical education*]. *Aktualni pytannia pryrodnycho-matematychnoi osvity – Current issues of science and mathematics education*, 2 (10), 94–101 [in Ukrainian].
6. Kirman V. K., Sokolova E. T. (2020). Systemnyi analiz matematychnoi kompetentnosti vchytelia heohrafii [System analysis of the geography teacher's mathematical competence]. *Naukovi zapysky. Seria: pedagogika – Proceedings. Series: pedagogy*, 1, 41–51 [in Ukrainian].
7. Kirman V. K. (2020). Formuvannya hotovnosti do propedeutychnoyi diyal'nosti vchyteliv matematyky ta pryrodnychkh dystsyplin [Formation of readiness for propaedeutic activities of teachers of mathematics and natural sciences]. *Problemy rozvytku profesiynykh kompetentnostey vchyteliv pryrodnycho-matematychnoho napryamku – Problems of the development of professional competences of science and mathematics teachers: zbirnyk tez dopovidey Vseukrayins'koyi nauk.-prakt. konf., (Dnipro, 23 hrudn. 2020 r.). Dnipro: KZVO «DANO» DOR», P. 51–54 [in Ukrainian].*
8. Kocherha Ye., Chaus H., Kirman V., & Romanets O. (2020). Osobystisnyi komponent profesiinoi kompetentnosti vchytelia [The personal component of a teachers professional competence]. In *Osvitni innovatsii: filozofia, psykholohiia, pedagogika – Educational innovations: philosophy, psychology, pedagogy: zbirnyk naukovykh statei u 2 t., 2, 289–292 [in Ukrainian].*
9. Kocherha Ye., Chaus H., & Romanets O. (2020). Rozvytok profesiinoi kompetentnosti vchyteliv pryrodnychkh dystsyplin na kursakh pidvyshchennia kvalifikatsii [Development of Science teachers professional competence in the professional training courses]. *Veresen. Naukovo-metodychnyi, informatsiino-osvitnii zhurnal – September. Scientific and methodical, informational and educational magazine*, 4, 2–3 (85–86), 54–60 [in Ukrainian].
10. Kulyk L.O., & Liashenko Yu.O. (2017). Formuvannya informatsiyno-komunikatsiynoi kompetentnosti maibutnikh vchiteliv fizyky na laboratornykh zanyattiakh zi «Shkilnoho kursu fizyky ta metodyky yoho vykladannia» [Formation of information and communication competence of future physics teachers in laboratory classes on «School Physics Course and Methods of Teaching»]. *Naukovi zapysky. Seria: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity – Proceedings. Series: Problems of the methodology of physical, mathematical and technological education*, 11 (I), 81–86 [in Ukrainian].
11. Nikolaiev O. (2013). Formuvannya predmetnoi kompetentnosti maibutnoho vchytelia fizyky [Formation of subject competence of future physics teacher]. *Naukovi zapysky – Proceedings*, 4 (II), 170–174 [in Ukrainian].
12. Chkana Ya. O. (2017). Vyznachennia rivniv sformovanosti matematychnoi kompetentnosti maibutnikh vchiteliv matematyky [Determining the levels of formation of mathematical competence of future mathematics teachers]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seria 3: Fizyka i matematika u vyshchii i serednii shkoli – Scientific journal of the National Pedagogical University named after M. P. Drahomanov. Series 3: Physics and mathematics in higher and secondary school: zb. nauk. prats.*, 19, 78–86 [in Ukrainian].
13. Csapó B., et al. *Mathematical Competence and Teaching Physics: A Study of High School Physics Teachers*, 2011.
14. Bing T. J., Redish E. F. Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2009. № 5 (2).
15. Hestenes D. Modeling methodology for Physics teachers. *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education (College Park, August), 1996.* URL: https://www.researchgate.net/publication/243779065_Modeling_methodology_for_Physics_teachers (accessed: 21.08.2023).
16. De Lange J. Using and applying mathematics in education. In K. C. A. J. Bishop, C. Keitel, J. Kilpatrick, & C. Laborde (Eds.), *International Handbook of Mathematics Education*, 1996. (Vol. 1). Dordrecht: Kluwer.
17. Nilsen T., Angell C., & Grønmo L. S. Mathematical competencies and the role of mathematics in physics education: A trend analysis of TIMSS Advanced 1995 and 2008. *Acta Didactica Norge*, 2013. 7 (1), 6. URL: <https://doi.org/10.5617/ADNO.1113> (accessed: 21.08.2023).
18. Niss M. Mathematical competencies and the learning of mathematics: the Danish KOM project. Paper presented at the 3rd Mediterranean Conference on Mathematical Education, A. Gagatsis & S. Papastavridis (Eds.), New York, 2003.
19. Paramata Y. Science teacher competence to design active learning. *Physics Education*, 2015. P. 277–281.
20. Rebello N. S., Cui L., Bennett A. G., Zollman D. A., & Ozimek D. J. Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. In D. H. Jonassen (Ed.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2007.
21. Redish E. F. *Problem solving and the use of math in physics courses*, 2006.
22. Uhden O., Karam R., Pietrocola M., & Pospiech G. *Modelling Mathematical Reasoning in Physics Education*. Science & Education, 2011. P. 1–22.