5. Савош В. Професійний розвиток учителів фізики в системі неперервної освіти: теорія і практика : монографія. Луцьк : «Волиньполіграф», 2020. 420 с.

REFERENCES

1. *Pro osvitu: Zakon Ukrainy* (2017) [On education: Law of Ukraine]. Kyiv.

2. Bykov, V.Yu. (2009). *Modeli orhanizatsiinykh system vidkrytoi osvity : monohrafiia* [Models of organizational systems of open education]. Kyiv.

3. Horoshko, Yu. (2012). *Informatsiine modeliuvannia u pidhotovtsi uchyteliv matematyky ta informatyky* [Information modeling in the training of teachers of mathematics and computer science]. Chernihiv.

4. Zhuk, Yu. (2017). *Teoretyko-metodychni zasady orhanizatsii navchalnoi diialnosti starshoklasnykiv v umovakh kompiuterno oriientovanoho seredovyshcha navchannia* [Theoretical and methodical bases of the organization of educational activity of senior pupils in the conditions of the computer-oriented learning environment]. Kyiv.

5. Savosh V. (2020). *Profesiinyi rozvytok uchyteliv fizyky v systemi neperervnoi osvity: teoriia i praktyka* [Professional development of physics teachers in the system of continuing education: theory and practice]. Lutsk.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

ГОЛОДЮК Лариса Степанівна – доктор педагогічних наук, доцент, заступник директора з науково-методичної діяльності Комунального закладу «Кіровоградський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти імені Василя Сухомлинського».

Наукові інтереси: теорія та методика навчання (математика, інформатика, технології).

МІЄР Тетяна Іванівна – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри початкової освіти Педагогічного інституту Київського університету імені Бориса Грінченка.

Наукові інтереси: загальна та спеціальна дидактика, технології.

САВОШ Валентин Олексійович – кандидат педагогічних наук, завідувач відділу фізико-математичних дисциплін Волинського інституту післядипломної педагогічної освіти.

Наукові інтереси: теорія та методика навчання (фізика, математика, технології).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

HOLODIUK Larysa Stepanyvna – Doctor (habil.) of Science in Pedagogy, Associate Professor, Deputy Director for scientific and methodological activities Municipal Institution «Kirovograd Regional IN-Service Teacher Training Institute named after Vasyl Sukhomlynsky».

Circle of research interests: theory and methods of teaching (mathematics, computer science, technology).

MIYER Tetiana Ivanivna – Doctor (habil.) of Science in Pedagogy, Associate Professor, Professor of the Department Primary Education Pedagogical Institute Borys Grinchenko Kyiv University.

Circle of research interests: general and special didactics, technologies.

SAVOSH Valentyn Oleksiiovych – Candidate of Pedagogical Sciens, Head of Physico-Mathematical Sciences Department Volyn Institute of Postgraduate Education.

Circle of research interests: theory and methods of teaching (physics, mathematics, technology).

Стаття надійшла до редакції 16.09.2021 р.

УДК 53(07)
DOI: 10.36550/2415-7988-2021-1-201-16-20

КУЗЬМЕНКО Ольга Степанівна –
доктор педагогічних наук, доцент,
професор кафедри фізико-математичних дисциплін
Льотної академії Національного авіаційного університету
ORCID:https://orcid.org/0000-0003-4514-3032
e-mail: Kuzimenko12@gmail.com

ТЕХНІЧНА СКЛАДОВА STEM-ОСВІТИ ЯК ЧИННИК МІЖДИСЦИПЛІНАРНОСТІ ФІЗИКИ ТА АЕРОДИНАМІКИ

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Згідно сучасних тенденції розвитку напряму STEM-освіти, що розкривається в освітньо-економічних запитах підготовки висококваліфікованих фахівців технічного напряму; попит на STEM-грамотність, необхідну для вирішення технологічних проблем щодо впровадження інноваційних технологій; опануванням здобувачами освіти (ЗО) soft skills у процесі здобуття освіти зі спеціальності 272 «Авіаційний транспорт» - є чинниками для актуальності розвитку постіндустріального суспільства та забезпечення високого рівня технічної освіти, що окреслює можливості технологічного втілення наукових надбань з фізики як фундаментальної науки, оволодіння методами моделювання фізичних явищ та розробки відповідних технологічних процесів з використанням STEM-технологій.

Таким чином, одним із напрямів реформування фізичної освіти у закладі вищої освіти (ЗВО) технічного профілю є посилення її методологічної спрямованості на засадах STEM-освіти в умовах міждисциплінарності.

Фізика, що вивчається ЗО Льотної академії Національного авіаційного університету (ЛА НАУ) на першому курсі є фундаментальною дисципліною таких професійно зорієнтованих дисциплін: «Динаміки польоту», «Основи радіоелектроніки», «Теоретичної механіки», «Опору матеріалів», «Інженерної графіки» «Основи електротехніки та електрообладнання ПС та аеродромів», «Безпеки польотів» та ін.

Під час вивчення курсу фізики ЗО знайомляться з фундаментальними поняттями, законами, експериментальним методом дослідження фізичних явищ і процесів природи, аналізом, синтезом,

© Кузьменко О.С., 2021

систематизацією спостережуваних явищ фізичного експерименту.

Значущим є питання щодо розкриття технічної складової STEM-освіти та розроблення методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, які викладаються ЗО академії, враховуючи міждисциплінарний підхід.

На нашу думку варто сформувати у ЗО у процесі навчання фізики та дисциплін професійно зорієнтованого профілю, цілісне уявлення про фізику, як фундаментальну науку, на основі вивчення фундаментальних наскрізних генеруючих понять, що є прикладним аспектом для технічності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретико-практичні аспекти методики навчання фізики у ЗВО досліджували в свої роботах О. Бугайов, П. Атаманчук, С. Величко, В. Вовкотруб, С. Гончаренко, І. Кучерук, М. Мартинюк, Л. Осадчук, М. Садовий, Б. Сусь, І. Сальник, Н. Подопригора, М. Шут та ін.

Ґрунтовність впровадження STEM-освіти в закладах освіти привернули увагу вітчизняних науковців (О. Барна, О. Бутурліна, Д. Васильєва, О. Воронкін, С. Кириленко, Л. Клименко, В. Мачуський, Н. Морзе, І. Пархоменко, Н. Поліхун, І. Савченко, І. Сліпухіна, В. Сіпій, О. Стрижак, І. Чернецький, В. Шарко та ін.).

Реалізацію принципів міждисциплінарності в дослідженні інноваційних процесів та впровадженні в освітній процес окреслено роботах Р. Акоффа [2], В. Андрущенка [1], В. Василькової [3], В. Дудченка [4], Е. Дюркгейма [5], С. Кримського [6], Н. Кропотової [7], С. Курдюмова [8], Т. Левовицького [12], О. Маркова [11] та ін.

Метою статті є окреслення технічної складової STEM-освіти, що використовується у освітньому процесі фізики та дисциплін професійного зорієнтованого напряму як міждисциплінарного підходу у процесі вивчення аеродинаміки.

Досліджуючи дану проблему нами використовувались теоретичні **методи**, а саме: аналіз підручників, методичних посібників і публікацій, що відображають проблему дослідження, з метою виявлення сучасних фізичних наукових положень та досягнень, тенденцій розвитку методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін [9] (на прикладі, аеродинаміки) в умовах міждисциплінарного підходу в ЗВО технічного профілю на засадах STEM-освіти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перехід на STEM-навчання визначає інноваційний підхід в удосконаленні методики навчання фізики в умовах міждисциплінарного підходу, що передбачає: використання нових методів, прийомів, засобів навчання, які допомагали б розв'язувати низку методичних завдань; застосування і запровадження в освітньому процесі з фізики ґрунтовних наукових досягнень, а також посилення тих аспектів, котрі стимулюють та активізують самостійну пізнавальну діяльність ЗО ЛА НАУ.

Розглянемо, як приклад, вивчення основних фізичних понять, що розкриваються ЗО в прикладному аспекті аеродинаміки, що ґрунтується на міждисциплінарному підході навчання фізики та дисциплін професійно зорієнтованого профілю ЛА НАУ.

Розглянемо рівняння руху літака як матеріальної точки. Для початку окреслимо основний понятійний апарат, який використовується ЗО в освітньому процесі ЛА НАУ:

– швидкість руху літака відносно повітря називають повітряною;

– шляхова або земна швидкість називається фізична величина, що характеризує швидкість руху літака, яка є відносно нерухомою до системи координат та пов'язана із землею;

– індикаторна швидкість – швидкість, яка визначається пілотом на приладі літака, що пов'язана з істинною швидкістю співвідношенням:

$$\upsilon_i = \upsilon\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = \upsilon\sqrt{\Delta}. \qquad (1)$$

– кут атаки – кут між проєкцією вектора швидкості на площину симетрії літака та хордою крила;

– кут ковзання – кут між вектором швидкості та площиною симетрії літака. У тому випадку, коли кут ковзання дорівнює нулю, кут атаки визначається як кут між напрямком вектора швидкості та хордою крила;

– підйомна сила $F_y = c_y\frac{\rho\upsilon^2}{2}$;

– сила опору $F_x = c_x\frac{\rho\upsilon^2}{2}$.

Мінімальне значення коефіцієнта c_x більше нуля у процесі польоту на цій висоті, тому зі збільшенням швидкості лобовий опір збільшується. Таким чином, для кожного літака існує своя максимальна швидкість польоту, що встановлюється на певній висоті. Якщо продовжувати збільшувати швидкість польоту понад максимальну, то горизонтальний політ стане неможливим і літак почне знижуватися.

Тому для кожного літака існує діапазон швидкостей, всередині якого можливий горизонтальний політ, що встановився. Завданням аеродинамічного розрахунку літака є визначення характеру руху літака за різними швидкостями польоту, що відображено всередині зазначеного діапазону швидкостей. Внаслідок взаємозв'язку наведених дефініцій, окреслимо важливість цих понять ЗО із технічності та прикладності зазначених вище дисциплін [10].

Надалі розглянемо дефініцію матеріальної точки та рівняння руху літака з урахуванням важливості цього поняття.

На літак в польоті діють зовнішні сили (рис. 1): сила тяжіння $F_{\text{тяж.}}$, що направлена вертикально вниз, аеродинамічна сила, яка складається з підйомної сили $F_{\text{під.}}$, сили лобового опору $F_{\text{оп.}}$ та бокової сили $F_{\text{б.}}$; сили тяги двигуна $F_{\text{тяги}}$, яка напрямлена по осі двигуна й нахилена до хорди крила літака під кутом φ.

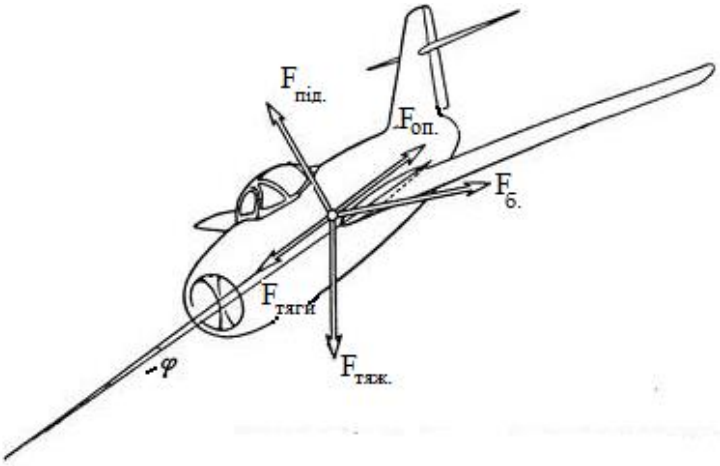

Рис. 1. Сили, що діють на літак в польоті

Складемо рівняння руху літака а проєкціях на вісь координат прийнятої системи. Сума проєкцій всіх зовнішніх сил на будь-яку вісь буде рівною силі інерції, що діє вздовж цієї вісі та отримаємо:

$$\left.\begin{aligned} m\frac{dv}{dt} &= F_{\text{тяги}}\cos(\alpha-\varphi)\,cos\beta - F_{\text{оп.}}cos\beta + F_{\text{б.}}sin\beta - F_{\text{тяж.}}sin\theta,\\ mv\frac{d\theta}{dt} &= F_{\text{тяги}}[\sin(\alpha-\varphi)\,cos\gamma_c + \cos(\alpha-\varphi)sin\beta sin\gamma_c] -\\ &-F_{\text{оп.}}sin\beta sin\gamma_c + F_{\text{під.}}cos\gamma_c - F_{\text{б.}}cos\beta sin\gamma_c - F_{\text{тяж.}}cos\theta;\\ -mvcos\theta\frac{d\psi_c}{dt} &= F_{\text{тяги}}[sin(\alpha-\varphi)sin\gamma_c - cos(\alpha-\varphi)sin\beta cos\gamma_c] +\\ &+F_{\text{оп.}}sin\beta cos\gamma_c + F_{\text{під.}}sin\gamma_c + F_{\text{б.}}cos\beta cos\gamma_c \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Формула (2) визначає загальний випадок польоту літака просторовою траєкторією, коли розглядається кут крену та ковзання. Дослідження відповідного просторового руху згідно вищезазначених рівнянь є складною задачею та розв'язується за допомогою нелінійних диференціальних рівнянь та інтегруванням.

Досліджуючи простіші види руху, коли літак рухається траєкторією, що лежить в одній площині, наприклад, в горизонтальній або вертикальній, рівняння спрощуються, наприклад, для руху у вертикальній площині, що збігається з площиною симетрії літака, кут ковзання β, кут крену γ_c та кутова швидкість $\frac{d\psi_c}{dt}$ дорівнюють нулю. Рівняння руху для цього випадку мають вид:

$$\left.\begin{aligned} m\frac{dv}{dt} &= F_{\text{тяги}}\cos(\alpha-\varphi) - F_{\text{оп.}} - F_{\text{тяж.}}sin\theta;\\ mv\frac{d\theta}{dt} &= F_{\text{тяги}}\sin(\alpha-\varphi) + F_{\text{під.}} - F_{\text{тяж.}}cos\theta \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Прикладом такого руху є «петля Нестерова», «гірка» або інші маневри, що здійснюються в вертикальній площині.

У процесі руху літака в горизонтальній площині кут θ нахилу траєкторії польоту до горизонту та кутова швидкість $\frac{d\theta}{dt}$ рівні нулю, а рівняння приймають наступний вид:

$$\left.\begin{aligned} m\frac{dv}{dt} &= F_{\text{тяги}}cos(\alpha-\varphi)cos\beta - F_{\text{оп.}}cos\beta + F_{\text{б.}}sin\beta;\\ F_{\text{тяги}}\big[sin(\alpha-\varphi)cos\gamma_c + \cos(\alpha-\varphi)\,sin\beta sin\gamma_c + F_{\text{під.}}cos\gamma_c =\big]&\\ = F_{\text{оп.}}sin\beta sin\gamma_c + F_{\text{б.}}cos\beta cos\gamma_c + F_{\text{тяж.}};&\\ -mv\frac{d\psi_c}{dt} &= F_{\text{тяги}}[sin(\alpha-\varphi)sin\gamma_c - cos(\alpha-\varphi)sin\beta cos\gamma_c] +\\ &+F_{\text{оп.}}sin\beta cos\gamma_c + F_{\text{під.}}sin\gamma_c + F_{\text{б.}}cos\beta cos\gamma_c \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Для прямолінійного руху в горизонтальній площині рівняння (2) перетворюються на:

$$\begin{aligned} m\frac{dv}{dt} &= F_{\text{тяги}}cos(\alpha-\varphi)cos\beta - F_{\text{оп.}}cos\beta + F_{\text{б.}}sin\beta;\\ F_{\text{тяги}}\big[sin(\alpha-\varphi)cos\gamma_c + \cos(\alpha-\varphi)\,sin\beta sin\gamma_c + F_{\text{під.}}cos\gamma_c =\big]&\\ = F_{\text{оп.}}sin\beta sin\gamma_c + F_{\text{б.}}cos\beta cos\gamma_c + F_{\text{тяж.}};&\\ F_{\text{тяги}}[sin(\alpha-\varphi)sin\gamma_c - cos(\alpha-\varphi)sin\beta cos\gamma_c] + F_{\text{під.}}sin\gamma_c =&\\ = -F_{\text{оп.}}sin\beta cos\gamma_c - F_{\text{б.}}cos\beta cos\gamma_c \end{aligned} \quad (5)$$

Рух, який описується рівнянням (5), має місце, наприклад, в процесі розгляду польоту літака з декількома двигунами, коли вони виходять з ладу або роботі частини двигунів. Серед плоских рухів літака доцільно виділити вузький клас рухів, що встановилися.

Наприклад, можна говорити про рух із встановленою швидкістю польоту; з встановленим

кутом атаки та кутом крену і т.д. Однак, якщо обмежитися розглядом руху літака, розглядаючи невеликі інтервали часу, то зміною ваги літака можна знехтувати і тоді дефініція «встановлений рух», набуває змісту.

Встановленим рухом називається рух літака, у процесі якого кінематичні параметри руху (кут атаки, кут ковзання, кут крену, швидкість польоту) залишаються незмінними з часом. Встановлений рух можливий тільки в горизонтальній площині та рівняння руху для цього випадку мають вигляд:

$$\left.\begin{aligned} F_{\text{тяги}}cos(\alpha-\varphi)cos\beta = F_{\text{оп.}}cos\beta - F_{\text{б.}}sin\beta;\\ F_{\text{тяги}}[sin(\alpha-\varphi)cos\gamma_c + \cos(\alpha-\varphi)\,sin\beta sin\gamma_c] + F_{\text{під.}}cos\gamma_c = \\ = F_{\text{оп.}}sin\beta sin\gamma_c + F_{\text{б.}}cos\beta cos\gamma_c + F_{\text{тяж.}} \\ = -mv\frac{d\psi_c}{dt} = F_{\text{тяги}}[\sin(\alpha-\varphi)\,sin\gamma_c - \\ -cos(\alpha-\varphi)sin\beta cos\gamma_c] \pm F_{\text{оп.}}sin\beta cos\gamma_c + F_{\text{під.}}sin\gamma_c + F_{\text{б.}}cos\beta cos\gamma_c \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Рівняння горизонтального встановленого руху має вид:

$$\left.\begin{aligned} F_{\text{тяги}}cos(\alpha-\varphi) = F_{\text{оп.}};\\ F_{\text{тяги}}sin(\alpha-\varphi) + F_{\text{під.}} = F_{\text{тяж.}} \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Якщо розглядати визначення польоту за похилою прямолінійною траєкторією, то рівняння умовного «встановленого» польоту без ковзання, які отримаємо з рівнянь (2), набудуть вигляду

$$\left.\begin{aligned} F_{\text{тяги}}cos(\alpha-\varphi) = F_{\text{оп.}} + F_{\text{тяж.}}sin\theta;\\ F_{\text{під.}} + F_{\text{тяги}}sin(\alpha-\varphi) = F_{\text{тяж.}}cos\theta. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Рівняння (8) описують, підйом або зниження літака за прямолінійною траєкторією з незмінним кутом атаки (або незмінною швидкістю).

Кути атаки крил у процесі польоту літака зі швидкостями, що наведено діапазоном швидкостей, невеликі (зазвичай кути атаки не перевищують 15-20^0). Косинус таких невеликих кутів відрізняється від одиниці, тому знехтувавши цим значенням, отримаємо

$$F_{\text{під.}}\cos(\alpha-\varphi) \approx F_{\text{під.}} \quad (9)$$

Враховуючи, що сила тяги в більшості випадків менша за вагу літака і що sin(α-φ) є малою величиною, визначимо, що

$$F_{\text{під.}}sin(\alpha-\varphi) \approx 0. \quad (10)$$

Таким чином, рівняння (8) матиме простіший вид

$$\left.\begin{aligned} F_{\text{тяги}} = F_{\text{оп.}} + F_{\text{тяж.}}sin\theta;\\ F_{\text{під.}} = F_{\text{тяж.}}cos\theta. \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Якщо обмежитися розглядом траєкторій польоту з відносно невеликими кутами нахилу до горизонту (20-25^0), то в першому наближенні можна прийняти, що $\cos\theta \approx 1$, тоді отримаємо найпростіші рівняння прямолінійного польоту без ковзання

$$\left.\begin{aligned} F_{\text{тяги}} = F_{\text{оп.}} + F_{\text{тяж.}}sin\theta = c_xS\frac{\rho v^2}{2} + F_{\text{тяж.}}sin\theta;\\ F_{\text{під.}} = F_{\text{тяж.}} = c_yS\frac{\rho v^2}{2}. \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Таким чином, на практиці можна здебільшого користуватися рівнянням (12) або рівняннями (11).

Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок. У контексті інноваційних змін когнітивні практики проявляють тяжіння до міждисциплінарного синтезу, тому що міждисциплінарність пов'язана зі здатністю всебічно підходити до аналізу задач і дозволяє вивчати те, що неможливо побачити, сприйняти в межах однієї наукової дисципліни з її специфічними об'єктом, предметом і методами дослідження. Міждисциплінарний підхід спрямовує дослідження інноваційних освітніх процесів на методологічному, теоретичному й технологічно-практичному рівнях. Значущість методологічного рівня полягає в інтеграції закономірностей і принципів, взаємо доповненні різних підходів і методів наукового пізнання сутності та джерел зародження, становлення й утвердження нового в освіті.

Відповідно ознайомлення та вивчення ЗО понятійного фізичного апарату з урахуванням тенденцій розвитку STEM-освіти, сприятимуть формуванню сучасного наукового мислення та забезпеченню систематизації знань з фізики, а також дисциплін професійно зорієнтованого профілю навчання з урахуванням міждисциплінарного підходу. **Перспективи подальших досліджень** полягають в розробленні методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій в умовах трансдисциплінарного та онтологічного підходів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах: Москва : Сов. радио, 1974. 272 с.

2. Архангельский С.И. Лекции по научной организации учебного процесса высшей школе. Москва : Высшая школа, 1976. 200 с.

3. Василькова В.В. Междисциплинарность как когнитивная практика (на примере становления коммуникативной теории). *Коммуникация и образование: сб. статей*. СПб.: Санкт-Петербургское философское общество, 2004. С. 69–88.

4. Дудченко В.С. Основы инновационной методологи. Москва : Союз, 1996. 68 с.

5. Дюркгейм Э. Метод социологии: пер. с фр. Западно-европейская социология XIX – начала XX веков. Москва : Издание Международного Университета Бизнеса и Управления, 1996. С.9–65.

6. Кримський С.Б. Проект і проектування в сучасній цивілізації. Метод проектів: традиції, перспективи, життєві результати: практико зорієнтований зб. / керівник авторського колективу – директор ліцею міжнародних відносин №51. Київ : Департамент, 2003. 500 с.

7. Кропотова Н.В. Университет как пространство междсциплинарной коммуникации. *Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти: зб. наук. пр.* Харків: НТУ ХПІ, 2008. Вип.18 (22). С.22–30.

8. Курдюмов С.П., Князева Е.Н. Структуры будущего: синергетика как методологическая основа футурологии. *Синергетическая парадигма. Нелинейное*

мышление в науке и искусстве. Москва : Прогресс-Традиция, 2002. С.109–125.

9. Кузьменко О.С. Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти: монографія. Кропивницький : видавництво КОД, 2018. 624 с.

10. Кузьменко О.С. STEM-моделювання фізичних явищ у процесі навчання студентів професійно-технічним дисциплінам в закладах вищої освіти. *Наукові записки. Серія : Педагогічні науки*. Кропивницький : РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2018. Вип. 168. С. 120–124.

11. Маркова О.Ю. Междисциплинарность как методологический принцип философии образования. *Образование и гражданское общество : материалы круглого стола, 15 ноября 2002 г.* Вып. 1 СПб.: Санкт-Петербургское философское общество, 2002. С. 24–27.

12. Lewowicki Tadeusz. Interdyscyplinarnjść pedagogiki – tradycja i wspotczeność, problemy i szanse. *Interdyscyplinarnosc pedagogiki i jej subdyscypliny*. V польсько-український форум. Краків, Польша. 2002. С.17–31.

REFERENCES

1. Akoff, R., Emeri, F. (1974) *O tseleustremlennyih sistemah* [On purposeful systems:]. Moscow.

2. Arhangelskiy, S.I. (1976) *Lektsii po nauchnoy organizatsii uchebnogo protsessa vyisshey shkole*. [Lectures on the scientific organization of the educational process in higher education]. Moscow.

3. Vasilkova, V.V. (2004) *Mezhdistsiplinarnost kak kognitivnaya praktika (na primere stanovleniya kommunikativnoy teorii)* [Interdisciplinarity as a cognitive practice (on the example of the formation of communication theory)]. Saint Petersburg.

4. Dudchenko, V.S. (1996) *Osnovyi innovatsionnoy metodologi*. [Fundamentals of innovative methodology]. Moscow.

5. Dyurkgeym, E. (1996) *Metod sotsiologii: per. s fr. Zapadno-evropeyskaya sotsiologiya XIX – nachala XIX vekov.* [Method of Sociology: per. with fr. Western European sociology of the 19th - early 20th centuries]. Moscow.

6. Krymskyi, S.B. (2003) *Proekt i proektuvannia v suchasnii tsyvilizatsii.* [Design and engineering in modern civilization]. Kyiv.

7. Kropotova, N.V. (2008) *Unyversytet kak prostranstvo mezhdstsyplynarnoi kommunykatsyy* [University as a space of interdisciplinary communication]. Kharkiv.

8. Kurdyumov, S.P., Knyazeva, E.N. (2002) *Strukturyi buduschego: sinergetika kak metodologicheskaya osnova futurologii* [Structures of the future: synergetics as a methodological basis for futurology]. Moscow.

9. Kuzmenko, O.S. (2018) *Teoretichni i metodichni zasadi navchannya fIziki studentIv tehnIchnih zakladiv vischoyi osviti v konteksti rozvitku STEM-osviti* [Theoretical and methodological principles of teaching physics to students of technical institutions of higher education in the context of the development of STEM education]. Kropyvnytskyi.

10. Kuzmenko, O.S. (2018) *STEM-modeliuvannia fizychnykh yavyshch u protsesi navchannia studentiv profesiino-tekhnichnym dystsyplinam v zakladakh vyshchoi osvity* [STEM-modelling of physical phenomena in the process of teaching students professional and technical disciplines in higher education institutions]. Kropyvnytskyi.

11. Markova, O.Yu. (2002) *Mezhdistsiplinarnost kak metodologicheskiy printsip filosofii obrazovaniya* [Interdisciplinarity as a methodological principle of the philosophy of education]. Saint Petersburg.

12. Lewowicki, Tadeusz. (2002) *Interdyscyplinarnjść pedagogiki – tradycja i wspotczeność, problemy i szanse* [The interdisciplinarity of pedagogy - tradition and timelessness, problems and opportunities]. Poland.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

КУЗЬМЕНКО Ольга Степанівна – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри фізико-математичних дисциплін Льотної академії Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси: методика навчання фізики в закладах освіти, STEM-освіта, цифрова адженда.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KUZMENKO Olha Stepanovna – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physical and Mathematical Disciplines of the Flight Academy of the National Aviation University.

***Circle of research interests*:** methods of teaching physics in educational institutions, STEM education, digital agenda.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2021 р.

УДК [51+52+53]–
DOI: 10.36550/2415-7988-2021-1-201-20-24

КУЗЬМЕНКОВ Сергій Георгійович –
доктор педагогічних наук, кандидат фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри фізики
Херсонського державного університету
ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5257-9523
e-mail: ksg3.14159@gmail.com

ЧИ ІСНУЮТЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНІ МАТЕМАТИЧНІ КОНСТАНТИ? ПРИЧИНИ ЇХ ПОЯВИ У ФІЗИЧНИХ ТА АСТРОНОМІЧНИХ ФОРМУЛАХ

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Нещодавно нами була надрукована стаття «Які фізичні константи можна вважати фундаментальними?» [8]. Як з'ясувалось, з визначенням поняття «фундаментальна фізична константа» існує велика проблема. До того ж остаточного, узгодженого списку фундаментальних фізичних констант досі не існує – різні автори обґрунтовують різні (за деякими очевидними виключеннями) списки. Ми запропонували нові критерії фундаментальності фізичних констант. Фундаментальними, на нашу думку, слід вважати константи, які, по-перше, не можна виразити через інші константи (незалежність – для розмірних

© Кузьменков С.Г., 2021