

УДК 37.016:52

DOI: 10.36550/2415-7988-2021-1-201-90-98

**КРАСНОБОКИЙ Юрій Миколайович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2103-9978>  
 e-mail: [y mk201113@gmail.com](mailto:y mk201113@gmail.com)

**ТКАЧЕНКО Ігор Анатолійович** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1775-1110>  
 e-mail: [tkachenko.igor1071@gmail.com](mailto:tkachenko.igor1071@gmail.com)

**ІЛЬНИЦЬКА Катерина Сергіївна** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6179-5543>  
 e-mail: [ilnitskaja@udpu.edu.ua](mailto:ilnitskaja@udpu.edu.ua)

## ІНТЕГРАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ВИВЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНОЇ АСТРОФІЗИЧНОЇ ТЕОРІЇ ЯВИЩА ПРИПЛИВІВ НА ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ

**Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.** Вітчизняна освітня галузь на сучасному етапі модернізації орієнтується на перехід до технологій викладання інтегрованих курсів навчання на всіх її рівнях (освітніх ступенях). Однією з основних і важко вирішуваних проблем у цей перехідний період є розробка відповідних навчальних планів, програм, і, особливо, інтегрованих підручників, посібників, практикумів тощо. До цієї проблематики нині прикута увага як педагогів-методистів так і учених, які займаються фундаментальними дослідженнями на перетині низки наук: фізики і хімії, фізики і біології, біології і хімії, геології і географії, астрофізики і космології тощо [11].

Узагальнення результатів цих досліджень свідчить, що розробка повноцінного навчально-методичного забезпечення викладання (вивчення) інтегрованих курсів поки що знаходиться на стадії підбору (набору, вибору) відповідного певному освітньому ступеню (рівню) інтегративного навчального матеріалу, теоретичного обґрунтування його обсягів і логічного компонування у формі (вигляді) окремих тем навчальних дисциплін [10, с. 395–414; 13, с. 37–42; 14 с. 81–92].

Зважаючи на **актуальність** означеної проблематики, пропонуємо варіант вивчення теми «Явище припливів і відпливів на земній поверхні» для ОС «Бакалавр» – «Природничі науки» у процесі розгляду відповідної елементарної теорії цього явища, в якій поєднується матеріал з кінематики, динаміки,

гідродинаміки, теорії коливних і хвильових процесів, математики, астрофізики, астрономії, географії тощо.

**Аналіз актуальних публікацій з проблеми.** Витоки вчення про явище припливів і відпливів мають давню історію. Так ще І. Ньютон у свій час намагався дати наукове пояснення припливам і відпливам, створивши на основі уявлень про всесвітнє тяжіння так звану *статичну теорію* цього явища, про що мова йтиме далі. Перші дослідження з теорії хвиль малої амплітуди на поверхні «важкої» рідини належать Ж. Лагранжу (1781 р.) [5, с. 442] і О. Коші (1875 р.), мемуар якого з викладенням цієї теорії отримав першу премію на конкурсі Паризької АН у 1816 р. [1, с. 265–267]. Подальший розвиток теорії цієї важливої проблеми пов'язують з іменами П. Лапласа, С. Пуассона та інших учених. Зокрема, розробці достатньо повної теорії припливів і відпливів було присвячено низку праць Ю.М. Шокальського, наприклад [23].

Припливні і подібні до них явища, як характерні для Сонячної системи загалом, розглядаються у праці [7], а також як залежні від властивостей внутрішньої будови небесних тіл – у [17]. До ранніх досліджень з розробки теорії хвильових рухів рідини можна віднести роботи Л.М. Сретенського [21], Г. Ламба [15], В.В. Шулейкіна [24], А.І. Дуваніна [9]. Сучасним дослідженням залежності характеру припливів і відпливів від різних факторів присвячено низку робіт Н.І. Карпенка, наприклад [12], та систематизовано у формі електронного підручника авторів В.К. Хільчевського і С.С. Дубняка [22].

Матеріал про те, як можна вивчати це цікаве природне явище у освітніх закладах на уроках та в позанавчальний час, використовуючи лише елементарні знання з механіки, можна знайти у працях [6; 8; 16; 18].

**Мета статті:** виявити можливості інтеграції матеріалу з різних наук у процесі опису, викладання і вивчення явища припливів і відпливів.

**Методи дослідження:** у процесі підготовки матеріалу статті використовувалися загальнонаукові методи аналізу (наявних публікацій) і синтезу (їх результатів) з відповідними напрацюваннями авторів щодо їх впровадження у педагогічну практику.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Досліджуване явище зводиться до того, що біля берегів океанів і морів двічі за добу спостерігається підняття (приплив) морської води до деякого максимального рівня (повна вода). Після цього розпочинається її опускання (відплив) до мінімального рівня (мала вода). Різниця рівнів великої і малої води називається *амплітудою припливу*. Час між наступними одне за одним положеннями повної (або малої) води складає *12 год. 25 хв.* Цей час точно співпадає з половиною проміжку часу, протягом якого Місяць у своєму видимому русі здійснює повний оберт навколо Землі. Тому ще в давнину причину припливів і відпливів пов'язували з положенням Місяця на небосхилі. Проте наукове пояснення цього явища вперше було дане Ньютоном.

Ньютон розробив статичну теорію морських припливів, основу на припущенні, що в кожен момент часу сили, створювані *припливоутворюючим потенціалом*, забезпечують рівновагу рідини, внаслідок чого на поверхні водойми припливоутворюючий потенціал є постійною величиною. Ця теорія не враховує наявні рухи води в океані і форму контурів берегової лінії [19, с. 201 – 202]. Тому амплітудні значення припливів, які розраховані Ньютоном на основі законів небесної механіки, не узгоджуються зі спостереженнями (зокрема у портах).

Натепер доведено, що припливи і відпливи на поверхні Землі пояснюються *неоднорідністю поля тяжіння Місяця і частково Сонця*. Якби зовнішнє гравітаційне поле було однорідним, то в земній системі відліку воно повністю компенсувалося б поступальною силою інерції, пов'язаною з прискореним рухом центра мас Землі (де ми й розміщуємо початок координат цієї системи). У дійсності ж зовнішнє гравітаційне поле не є однорідним і повна його компенсація має місце лише в центрі мас Землі. У решті точок земної поверхні його повна компенсація відсутня. Саме незкомпенсовані сили, які залишаються, й викликають припливи. Вплив Місяця більш суттєвий, ніж Сонця. Хоча поле тяжіння Місяця слабше від сонячного, але воно *більш неоднорідне*, оскільки Місяць приблизно в 400 разів знаходиться ближче до Землі, ніж Сонце.

За викладення та вивчення названої теорії її доречно розглядати поступово – від часткових (спрощених) випадків, наближаючись до більш-менш

реального перебігу цього явища в природі, враховуючи той факт, що Місяць і Сонце притягують не лише те, що знаходиться на земній поверхні, а й всю земну кулю.

Спочатку розглянемо випадок, як відбувалося б явище припливів, коли б Сонця не було, а на Землю діяло лише гравітаційне поле Місяця.

Для спрощення будемо вважати Землю твердою недеформованою кулею, покритою океаном з постійною глибиною. Будемо вважати також, що Місяць рухається у площині земного екватора. Розглянемо, що відбувається за цього в точках океану, розташованих уздовж земного екватора. Земля і Місяць обертаються навколо їх спільного центра мас, неначе безперервно падаючи на нього. Маса Землі приблизно у 80 разів більша від маси Місяця, а тому їх спільний центр мас знаходиться поблизу центра мас Землі – на відстані, яка дорівнює приблизно  $3R_3 / 4$ . Внаслідок такої близькості їх спільного центра мас до центра Землі, за спрощеного нами розгляду означеного явища, центр Землі можна вважати нерухомим центром місячної орбіти. Але для пояснення виникнення припливів і відпливів будемо враховувати обертання Землі навколо спільного центра мас.

За цього точка *A* (рис. 1), для якої Місяць знаходиться в *зеніті*, розташована ближче до Місяця, ніж центр Землі *O*.

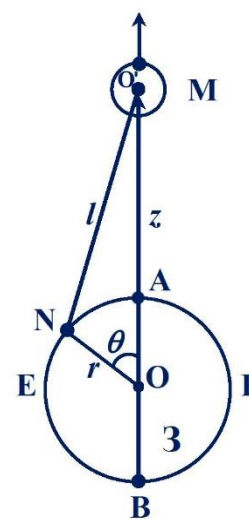


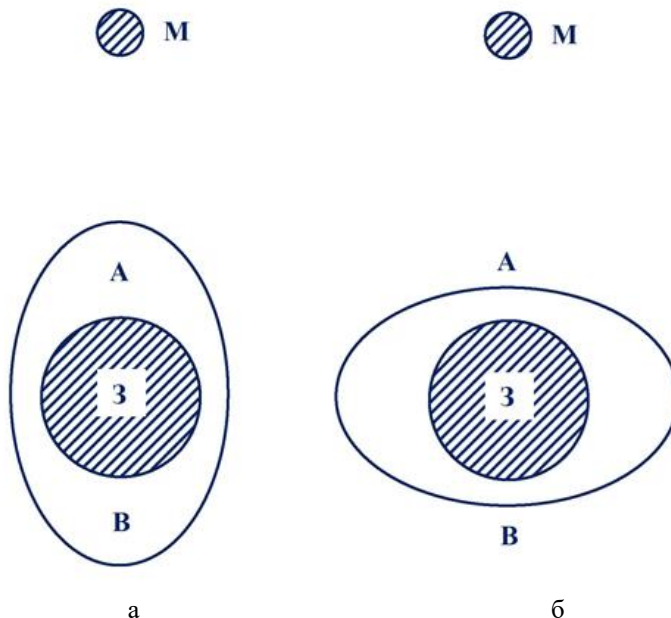
Рис. 1

Останній, у свою чергу, знаходиться ближче до Місяця, ніж діаметрально протилежна точка *B*, для якої Місяць знаходиться у *надирі*. Тому гравітаційне поле Місяця у точці *A* сильніше, а в точці *B* слабше, ніж у центрі Землі. Під впливом гравітаційного притягання Місяця частинки води в точці *A* будуть наближатися до Місяця з більшим прискоренням, ніж центр Землі *O*, а частинки води в точці *B* – з меншим прискоренням, тобто вони відставатимуть і від точки центра Землі і від точок твердого дна океану, над яким знаходяться.

Аналізуючи цю ситуацію, низка авторів, сповідуючи статичну теорію Ньютона, припускаються неточностей. Очевидні висновки, які

стосуються прискорення частинок, ними переносяться на швидкості і переміщення частинок води. Вважають, що частинки води в точці *A* будуть наближатися до Місяця швидше, ніж центр Землі *O*, а тому вони будуть випереджати останні. Навпаки ж, частинки води поблизу точки *B* будуть відставати від

центра Землі. Статична теорія стверджує, що саме з цієї причини на поверхні океану утворюються два діаметрально протилежних «горби» чи «виступи» з центрами в точках *A* і *B* (рис. 2, а).



Центри горбів весь час спрямовані до Місяця і від нього. Внаслідок осьового обертання Землі вони «біжать» по поверхні Землі (океану) синхронно з рухом Місяця. Саме тому два послідовних припливи (або відпливи) віддалені один від одного проміжком часу *12 год. 25 хв.*

Згідно з наведеним поясненням, повна вода повинна спостерігатися в моменти часу, коли Місяць знаходиться у верхній або нижній кульмінаціях (в зеніті або надирі), а мала вода – коли він знаходиться у *квадратурі*. Так ось, спостереження не узгоджуються з таким висновком. Швидше справджується зворотна закономірність: повна вода спостерігається у квадратурах (рис. 2, б), а мала – в кульмінаціях Місяця (рис. 2, а). У всякому випадку, між кульмінацією Місяця і послідуною повною водою проходить значний проміжок часу, який складає кілька годин.

У спеціалізованих службах, які обслуговують порти й інші прибережні інфраструктурні об'єкти, середнє значення цього проміжку часу називають *прикладним часом* (для різних портів він різний) [9]. Таке розходження між теорією і спостереженнями пов'язане, насамперед, з неточностями у міркуваннях, викладених вище. Зміщення і швидкості частинок води визначаються не лише прискореннями, але і їх *початковими значеннями*. Якби у будь-який один і той же момент часу (який можна вважати за початковий) частинки води знаходились, наприклад, у стані спокою, то ці міркування були б вірними. Але саме ця умова на поверхні Землі не виконується, про що йтиме мова нижче.

Рис. 2

Сили, що діють на частинки води у земній системі відліку, складаються із сил тяжіння і сил інерції. Силу притягання самої Землі, а також відцентрові сили, які виникають внаслідок обертання Землі навколо її власного центра мас, у проблемі утворення припливів ролі не відіграють. Їх результуючу напруженість будемо позначати  $\vec{g}$  (прискорення вільного падіння). Вектор  $\vec{g}$  у кожній точці земної поверхні залишається сталим. Він визначає форму вільної поверхні океану в стані рівноваги. Ця поверхня всюди перпендикулярна до вектора  $\vec{g}$ . В теорії припливів цікавими є саме відхилення від цієї рівноважної форми, які пов'язані з дією *змінних припливоутворюючих сил*. За визначення цих відхилень рівноважну форму поверхні води в океані можна вважати сферичною. Силу Кориоліса також не будемо брати до уваги, тому що воду в океані у випадку відсутності збуджуючих припливоутворюючих сил можна вважати як такою, що перебуває у стані спокою. Як виявляється, коріолісові сили, які виникають за рухів води викликаних припливами і відпливами, нехтовно малі. Таким чином, за визначення припливоутворюючих сил необхідно враховувати лише сили тяжіння зовнішніх тіл (Місяця і Сонця), а також сили інерції, які пов'язані з прискореним рухом центра мас Землі. Такі сили інерції в термінології механіки називають *поступальними силами інерції*.

Припливоутворюючу силу будемо відносити до одиниці маси води *m*, на яку вона діє, і позначатимемо буквою  $\vec{f}$ . Спочатку краще визначити не сам вектор  $\vec{f}$ , а відповідний йому припливний потенціал  $\phi_{\text{пр}}$ , тобто потенціальну енергію одиниці маси води, яка

знаходиться під дією сили  $\vec{f}$ . Він складається з потенціалу сил тяжіння Місяця ( $\varphi_M$ ) і потенціалу поступальних сил інерції ( $\varphi_{ін}$ ):

$$\varphi_{пр} = \varphi_M + \varphi_{ін}. \quad (1)$$

Для встановлення явного виду формули (1) спрямуємо вісь  $Z$  у бік Місяця (рис. 1).

Нехай  $a = G \frac{M_M}{R^2}$  – прискорення, з яким центр Землі  $O$  наближається до центра мас системи Земля – Місяць. Відповідна сила інерції буде рівна  $F_{ін} = -ma$ . Вважаючи її однорідною, для потенціалу поступальних сил інерції отримуємо:  $\varphi_{ін} = az$ , або

$$\varphi_{ін} = ar \cos \theta = G \frac{M_M}{R^2} r \cos \theta. \quad (2)$$

Потенціал сил тяжіння Місяця дорівнює

$$\varphi_M = -G \frac{M_M}{l}. \quad (3)$$

З рис. 1 знаходимо  $l^2 = R^2 - 2Rr \cos \theta + r^2$ , або  $l = \sqrt{R^2 - 2Rr \cos \theta + r^2}$ . (4)

Застосовуючи формулу біному Ньютона і нехтуючи кубами і вищими степенями  $r$ , отримуємо:

$$\begin{aligned} \varphi_M &= -G \frac{M_M}{R} \sqrt{1 - \frac{2Rr \cos \theta - r^2}{R^2}} = \\ &= -G \frac{M_M}{R} \left[ 1 + \frac{2Rr \cos \theta - r^2}{2R^2} + \frac{3}{8} \left( \frac{2r \cos \theta}{R} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (5)$$

У (5) постійним членом  $G \frac{M_M}{R}$ , як будь-якою сталою величиною у виразі потенціалу, можна знехтувати. Лінійний по  $r$  член компенсується потенціалом (2) оскільки  $a = G \frac{M_M}{R^2}$ . Потім, у виразі потенціалу  $\varphi_M$  можна знехтувати всіма членами, які залежать лише від  $r$ , але які не залежать від кута  $\theta$ . Ці члени вносять один і той же радіальний «додаток» до діючої сили у всіх точках земної поверхні. Цей додаток можна включити у вираз  $g$  – до утворення припливів він відношення не має. З врахуванням цих зауважень отримуємо:

$$\varphi_{пр} = -\frac{3}{4} \frac{r^2}{R} a \cos 2\theta = -\frac{3}{4} G \frac{M_M}{R^3} r^2 \cos 2\theta, \quad (6)$$

де  $M_M$  – маса Місяця;  $R = OO'$  – відстань між центрами Землі і Місяця;  $\theta$  – зенітна відстань Місяця у розгляданий момент часу;  $r$  – відстань від центра Землі до точки спостереження  $N$ .

Величини  $r$  і  $\theta$  є полярними координатами точки спостереження. Припливоутворююча сила отримується диференціюванням потенціалу  $\varphi_{пр}$ . Вона включає вертикальну ( $f_v$ ) і горизонтальну ( $f_r$ ) складові:

$$f_v = -\frac{\partial \varphi_{пр}}{\partial r}, f_r = -\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{пр}}{\partial \theta}. \quad (7)$$

(за позитивні значення взято напрями зростання величин  $r$  і  $\theta$ ).

Диференціюючи вирази (7) і вводячи прискорення вільного падіння  $g = G \frac{M_3}{r^2}$ , отримуємо:

$$f_v = \frac{3}{2} \frac{M_M}{M_3} \left( \frac{r}{R} \right)^2 g \cos 2\theta \quad (8)$$

$$f_r = \frac{3}{2} \frac{M_M}{M_3} \left( \frac{r}{R} \right)^2 g \sin 2\theta. \quad (9)$$

Розподіл припливоутворюючих сил уздовж екватора показано стрілками на схематичному рис. 3.

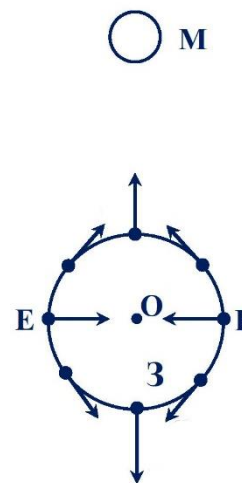


Рис. 3.

Повна припливоутворююча сила визначається за формулою:

$$f_z = \sqrt{f_v^2 + f_r^2} = \frac{3}{2} \frac{M_M}{M_3} \left( \frac{r}{R} \right)^3 g. \quad (10)$$

Підставляючи у (10) значення  $M_M / M_3 = 1 / 81$ ,  $R_3 / R = 1 / 60$ , отримуємо  $f / g = 8,57 \cdot 10^{-8}$ . За цього варто відзначити, що Місяць обертається навколо Землі по еліптичній орбіті. У перигеї він перебуває на відстані 57 земних радіусів, а в апогеї – на відстані 63,7 земних радіусів. Це впливає на величину припливоутворюючої сили Місяця. Для Місяця відношення  $f / g$  змінюється у межах від  $7,2 \cdot 10^{-8}$  (в апогеї) до  $10^{-7}$  (в перигеї).

Наведені результати показують, наскільки незначними є припливоутворюючі сили порівняно із звичайною силою тяжіння на Землі. Та обставина, що ці сили викликають таке грандіозне явище природи, як приливи і відливи, пов'язане з тим, що вони не постійні, а періодично змінюються з часом. Якби припливоутворюючі сили, переміщуючись від точки до точки на Земній поверхні, залишалися б постійними з часом, то вони лише злегка змінювали б рівноважну форму вільної поверхні води в океані. Але ця форма не змінювалася б з часом, тобто не було б ніяких приливів і відливів. У дійсності ж, як показують формули (8, 9, 10), у кожній точці земної кулі залишається незмінною лише величина припливоутворюючої сили, але не її напрямок. Обидві складові припливоутворюючої сили  $f_v$  і  $f_r$  у кожній точці земної кулі періодично змінюються з часом через добові зміни зенітної відстані Місяця  $\theta$ . З певним ступенем наближення можна покласти  $\theta = \omega t$ , де  $\omega$  – кутова швидкість осевого обертання Землі відносно прямої Земля – Місяць. Тоді  $f_v \sim \cos 2\omega t$ ,  $f_r \sim \sin 2\omega t$ . Коли  $f_v$  проходить через максимум, сила  $f_r$  перетворюється в нуль і навпаки. Це викликає періодичні зміни напрямку виска у кожній точці земної кулі, що і є безпосередньою причиною приливів і відливів.

Визначимо тепер дію (вплив) заданих припливоутворюючих сил на воду в океані. Перша (статична) теорія приливів, як уже відзначалося, була розроблена Ньютоном. Ця теорія визначала миттєву

форму вільної поверхні океану для випадку постійного значення припливоутворюючих сил, тобто коли б вони не змінювалися з часом. Згідно із законами гідростатики вільна поверхня рідини в стані рівноваги у кожній точці перпендикулярна до (постійних) діючих сил. Звідси випливає, що уздовж вільної поверхні рідини потенціал  $\varphi$  всіх діючих сил не повинен змінюватися. Очевидно, що  $\varphi = \varphi_0 + \varphi_{пр}$ , де  $\varphi_0$  – це потенціал всіх сил, які визначають прискорення вільного падіння  $g$  за умови відсутності припливоутворюючих сил.

Таким чином, згідно із статичною теорією припливів рівняння потенціалу вільної поверхні води в океані повинне мати вигляд  $\varphi_0 + \varphi_{пр} = const$ , або

$$\varphi_0 - \frac{3}{4} G \frac{M_M}{R^3} r^2 \cos 2\theta = const. \quad (11)$$

Застосуємо рівняння (11) до точок  $A$  і  $E$  на поверхні океану (рис. 3). Покладаючи спочатку  $\theta = 0$ , а потім  $\theta = \pi / 2$ , отримаємо:

$$\varphi_0(A) - \frac{3}{4} G \frac{M_M}{R^3} r_A^2 = \varphi_0(E) + \frac{3}{4} G \frac{M_M}{R^3} r_E^2. \quad (12)$$

Але  $\varphi_0(A) - \varphi_0(E) = gH$ , де  $H = r_A - r_E$  – амплітуда припливу. Біля  $r_A$  і  $r_E$  індекси можна не писати, адже  $r_A = r_E = r$ . Зважаючи ще, що  $g = GM_3 / r^2$ , і використовуючи формулу (10), отримаємо

$$H = \frac{f}{g} r. \quad (13)$$

За цією формулою знаходимо для амплітуди місячних припливів  $H_M = 0,55$  м, а для амплітуди сонячних припливів  $H_C = 0,24$  м.

Таким чином, за статичною теорією картина припливів і відпливів повинна відповідати рис. 2, а, а не рис. 2, б. В цьому основний недолік статичної теорії припливів.

Реальна теорія припливів має бути динамічною, основи якої були розроблені Лапласом у 1775 році на загальних рівняннях гідродинаміки. Основним завданням динамічної теорії було визначення вимушеного руху води в океані під дією заданих змінних припливоутворюючих сил [15]. Важливий принциповий момент, який повинна враховувати теорія, полягає в тому, що вода в океані являє собою певну механічну систему, для якої, подібно до коливачів маятника, притаманні певні *власні частоти вільних коливань*.

Щоб зрозуміти суть справи, вдамося до уявного експерименту. Уявимо, що на Землі уздовж її екватора проритий канал постійної глибини, який заповнений водою і охоплює всю земну кулю. Якщо у деякому місці каналу викликати збурення води, то воно буде поширюватися уздовж нього з певною швидкістю. За цього хвильовий рух охоплює, строго кажучи, всю товщу води. Але, коли глибина водойми (як у випадку океану) велика порівняно з довжиною хвилі, то ці збурення зосереджуватимуться головним чином у приповерхневому шарі, практично не досягаючи дна. Найпростіший вигляд таких хвиль, який можна прийняти за спрощеного нами розгляду означеної теорії, – це плоска синусоїдальна хвиля, у якій поверхня рідини синусоїдально «гофрована» в одному напрямі. За цього всі зміни фізичних величин, наприклад, вертикальне зміщення частинок у  $(z, x, t)$ ,

мають вигляд  $y = A(z) \cos(\omega t - kx)$ , де  $x$  – горизонтальна,  $z$  – вертикальна координати,  $\omega$  – кутова частота,  $t$  – час,  $k$  – хвильове число,  $A$  – амплітуда коливань частинок, яка залежить від глибини  $h$ . Величини  $\omega$  і  $k$  зв'язані так званим дисперсійним рівнянням:

$$\omega = \sqrt{gk + \frac{\sigma k^3}{\rho}}, \quad (14)$$

де  $\rho$  – густина рідини;  $\sigma$  – коефіцієнт її поверхневого натягу;  $g$  – прискорення вільного падіння.

З цієї формули визначається фазова швидкість  $v_\phi = \omega/k$ , з якою рухається точка з фіксованою фазою (наприклад, вершина хвилі), і групова швидкість  $v_{гр} = d\omega/dk$  – швидкість поширення енергії хвилі. Для чисто гравітаційних хвиль  $v_\phi = 2v_{гр} = g/\omega$ .

У загальному випадку на характеристики хвиль впливає повна глибина водойми  $h$ . Якщо вертикальне зміщення рідини на дні дорівнює нулю (жорстке дно), то дисперсійне рівняння хвиль у водоймі певної глибини (без врахування обертання Землі) має вигляд:

$$\omega = \sqrt{\left(gk + \frac{\sigma k^2}{\rho}\right) tgkh}. \quad (15)$$

Для довгих гравітаційних хвиль  $kh \ll 1$  і дисперсійне рівняння набуває виду  $\omega = k\sqrt{gh}$ . У такій хвилі  $v_\phi$  і  $v_{гр}$  дорівнюють одній і тій же величині  $\omega/k = v = \sqrt{gh}$ , яка не залежить від частоти. Це значення швидкості найбільше для гравітаційних хвиль у конкретній водоймі. У самому глибокому на Землі місці океану, Маріанській западині, де  $h \approx 11$  км,  $v \approx \sqrt{10 \frac{m}{c^2} \cdot 11 \cdot 10^3 m} = 330$  м/с [4].

Обравши в якості глибини нашого каналу середню глибину світового океану  $\sim 4$  км, отримаємо швидкість поширення в ньому хвиль збурення:  $v \approx \sqrt{10 \frac{m}{c^2} \cdot 4 \cdot 10^3 m} = 200$  м/с. Знаючи довжину  $L \approx 4 \cdot 10^7$  м земного екватора, визначаємо час  $t = L/v = 2 \cdot 10^5$  (с)  $\approx 60$  год. Тобто, збурення «пробіжить» навколо Землі за 60 годин.

За розгляду явища припливів роль відіграє час, який удвічі менший від визначеного. Справа в тому, що в цьому випадку збурення складається з двох однакових горбів  $A$  і  $B$ , розташованих у діаметрально протилежних точках земної кулі (рис. 2, а, б). Протягом 30 годин горб  $A$  переміститься в положення  $B$ , а горб  $B$  – в положення  $A$ , і початкова форма поверхні води в каналі відновиться. Отже, воді в каналі властивий *власний період коливань*  $T_0 \approx 30$  годин. Він більший від періоду коливань припливоутворюючої сили  $T = 12$  год 25 хв. З елементарної теорії коливань відомо, що в цьому випадку (за відсутності сил тертя) зовнішня сила і збуджені нею вимушені коливання знаходяться в протилежних фазах. І навпаки, за  $T_0 < T$  коливання відбуваються в однакових фазах. За аналогією з коливаннями математичного маятника – якщо привести в коливальний рух точку підвісу математичного маятника, то кулька маятника також

прийде в коливальний рух. За малих частот коливаний точки підвісу вона і кулька у кожен момент часу будуть рухатися в однакових, а за великих частот – у протилежних напрямках. Оскільки у розглядуваному випадку  $T_0 > T$ , картина припливів повинна відповідати рис. 2, б, а не рис. 2, а.

Тож статична теорія припливів якісно вірно описувала б явище припливів, коли б було  $T_0 < T$  [20, С. 360 – 365].

За яких же умов ця вимога могла б бути виконана? Якщо збурення в каналі «оббігають» земний екватор за 60 годин з швидкістю  $\sim 200$  м/с, і період їх власних коливаний  $T_0 = 30$  год, а період коливаний припливоутворюючої сили  $T = 12$  год 25 хв, тобто на 17 год 35 хв менший, то з якою швидкістю повинна поширюватися припливоутворююча сила, щоб хоча б  $T_0 \approx T$ ? Приблизний підрахунок показує:  $v = L/t = 4 \cdot 10^7 \text{ м} / 17 \text{ год} 35 \text{ хв} = 4 \cdot 10^7 \text{ м} / 63300 \text{ с} \approx 630 \text{ м/с}$ .

Якщо на глибині 11 км (Маріанська западина)  $v = 330$  м/с, то в нашому випадку швидкості 630 м/с повинна відповідати глибина водойми  $\sim 20$  км. За умови ж щоб  $T_0 < T$ , глибина  $h$  повинна бути ще більшою за 20 км. В океанах і морях, які покривають земну поверхню, такі глибини, як відомо, не спостерігаються.

Припливи, які спричинюються Сонцем, накладаються на припливи місячні. Наведені формули (8, 9, 10) цілком справедливі й для припливоутворюючих сил, які викликаються Сонцем. У цьому випадку  $f/g = 3,8 \cdot 10^{-8}$ , тобто у 2,25 рази менше, ніж для Місяця за його середнього віддалення від Землі. Величина припливоутворюючої сили Сонця змінюється протягом року приблизно на 10%.

Якщо за накладання сонячних і місячних припливів вони підсилюють один одного, то припливи утворюються особливо великими. Це відбувається тоді, коли Сонце і Місяць знаходяться на одній прямій із Землею, тобто коли Місяць «повний» і коли – «молодик». Виникаючі тоді припливи називаються великими або сизигійними припливами. І навпаки, коли Місяць у першій або останній чверті, то місячний приплив послаблюється сонячним. Тоді кажуть про малий, або квадратурний приплив.

Всій Землі в цілому Місяць надає такого прискорення, яке він надавав би тілу, вміщеному в центрі земної кулі як твердого тіла, тобто

$$g_M = G \frac{M_M}{R^2}. \quad (16)$$

Частинкам води, які знаходяться на звернутій до Місяця частині поверхні Землі, тобто ближче до нього, Місяць надає більшого прискорення:

$$g_1 = G \frac{M_M}{(R-R_3)^2}. \quad (17)$$

Відповідно частинкам води з протилежного боку Землі надається менше прискорення:

$$g_2 = G \frac{M_M}{(R+R_3)^2}. \quad (18)$$

Величина припливного ефекту залежить від різниці прискорень, які Місяць або Сонце надають воді і всій земній кулі загалом. Знайдемо формулу  $\Delta g$  цієї різниці. Нехай на Землю діє довільне тіло масою

$M$  і центри мас їх знаходяться на відстані  $R$ . Тоді для найближчої точки земної поверхні

$$\Delta g = G \frac{M}{(R-R_3)^2} - G \frac{M}{R^2} = \frac{GM(2R-R_3)R_3}{R^2(R-R_3)^2}. \quad (19)$$

З врахуванням того, що  $R_3 \ll R$ , для обох діаметрально протилежних точок земної поверхні отримуємо:

$$\Delta g = G \frac{2MR_3}{R^3}. \quad (20)$$

Саме значення цієї різниці для Місяця і Сонця й визначає величину припливної дії, яка викликається ними на земній поверхні. У випадку Місяця  $R \approx 60 R_3$ , у випадку Сонця  $R \approx 25000 R_3$ . Тому для Сонця  $R^3$  майже у  $72 \cdot 10^6$  разів більше, ніж для Місяця. Врахувавши, що  $M_C / M_M \approx 27 \cdot 10^6$ , виявляється, що для Місяця різниця  $\Delta g$  майже втричі більша, ніж для Сонця. Тому й припливна дія Місяця втричі перевищує припливну дію Сонця.

По іншому складається ситуація на середніх широтах. Тут вектори прискорень спрямовані під кутом і знаходження різниці між прискоренням, якого зазнає Земля під впливом Місяця  $GM_M/R^2$ , і прискоренням, якого зазнає тіло, що лежить на поверхні Землі, під дією Місяця  $GM_M/R_{OT}^2$ , потрібно проводити геометрично (за правилом векторів). Нескладні розрахунки показують, що шукана різниця у стільки разів менша від  $GM_M/R^2$ , у скільки разів  $R_3$  менше від  $R$ . Тобто, шуканий додаток до  $g$  на середній лінії земної поверхні дорівнює

$$\frac{GM_M R_3}{R^3} \quad (21)$$

за числовим значенням він удвічі менший, ніж у крайніх точках  $A$  і  $B$ .

Наведені міркування і розрахунки стосуються будь-якої планети, а також Сонця й інших зірок. Щоб порівняти дію будь-якого небесного тіла з впливом Місяця, потрібно поділити додаткове прискорення цього тіла на такий же додаток з боку Місяця:

$$\frac{GM_T R_3}{R_{OT}^3} \cdot \frac{GM_M R_3}{R_M^3} = \frac{M_T}{M_M} \cdot \frac{R_M^2}{R_{OT}^3} \quad (22)$$

де  $M_T$  – маса небесного тіла;  $R_M$  – радіус Місяця;  $R_{OT}$  – відстань між центрами Землі і небесного тіла.

Підставивши у це співвідношення числові значення для Сонця, отримуємо, що під його впливом земне тяжіння змінюється у 2,17 ( $\sim 2,2$ ) рази менше, ніж під впливом Місяця.

Розглянемо ще два гіпотетичних випадки.

Наскільки змінить свою вагу земні тіла, якщо Місяць залишить земну орбіту? Підставивши числові значення величин  $M_M = 7,35 \cdot 10^{22}$  кг;  $R_3 \approx 64 \cdot 10^5$  м;  $G \approx 6,67 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>;  $R \approx 4 \cdot 10^8$  м у вираз  $2GM_M R_3 / R^3$ , отримуємо величину порядку  $10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>, тобто – це мільйонна доля земного  $g$ . Здавалося б зовсім «нічого». Насправді ж, як виявляється, саме цей, «нехтовно малий ефект» і є причиною потужних припливних сил. Він щодобово створює  $10^{15}$  Дж кінетичної енергії, переміщуючи колосальні маси води. Ця енергія сумірна з енергією, яку несуть всі річки земної кулі.

Тепер уявимо, що Місяць зупинився у своєму русі по відношенню до Землі і «завис» у якійсь точці над океаном. Розрахунки показують, що рівень води в

цьому місці підвищиться на 0,54 м. Такий же підйом води відбудеться й у діаметрально протилежній точці планети. На середній лінії між цими крайніми точками рівень води в океані знизиться на 0,27 м.

Припливні явища «перешкоджають» Землі обертатися – адже рух припливних хвиль пов'язаний з тертям. На подолання цього припливного тертя повинна виконуватися певна робота. На виконання цієї роботи витрачається кінетична енергія обертання Землі, а з нею зменшується й швидкість її обертання навколо своєї осі, що в свою чергу призводить до поступового збільшення тривалості земної доби. Правда, це уповільнення обертання Землі настільки «незначне», що безпосередньо виміряти його вдалося лише з винаходом атомного годинника, який здатний вимірювати проміжки часу з великою точністю – до мільйонної долі секунди. Так ось, з'ясувалося, що зміна тривалості доби досягає 1 – 2 мілісекунд протягом 100 років.

В аспекті розглядуваного цікавою є й гіпотеза, яка «пояснює» причину, чому місяць повернутий до Землі завжди однією і тією ж стороною. Згідно з цією гіпотезою «мабуть» Місяць раніше був у рідкому стані (не обов'язково у формі води) і обертався значно швидше навколо своєї осі. Обертання цієї рідкої кулі навколо Землі супроводжувалося величезним припливним тертям, яке поступово уповільнювало рух Місяця і Землі. Оскільки Місяць набагато легший від Землі, він нарешті загальмувався і перестав обертатися по відношенню до Землі, припливи на ньому припинилися і одна із сторін Місяця стала недоступною для спостереження із Землі [6, с. 116–121].

Як такої, завершеної теорії припливів і відпливів, яка б цілком відповідала потребам практики (передбачуваного прогнозування), ще не існує. Та це і зрозуміло. Адже на перебіг цього явища впливають: складний рельєф дна океанів і морів, наявність материків і островів, різні контури лінії берегів, внутрішнє тертя води, морські течії і вітри, деформація самої Землі під дією припливоутворюючих сил та інші фактори, які важко врахувати.

Наприклад, у Каспійському морі припливів і відпливів не буває, тому що вся поверхня моря одночасно знаходиться за однакових умов. Відсутні також помітні припливи і відпливи у внутрішніх водоймах, озерах, ставках тощо.

На відкритих островах в океані амплітуда припливу, коли Місяць у повні і коли він новий, зазвичай буває ~ 1 м. Це узгоджується з тим, що дає статична теорія припливів. Біля берегів океану амплітуда припливів у більшості випадків ~ 2 м. Місць з амплітудою у 3 м вже мало, а з амплітудою більше 6 м дуже мало. Такі амплітуди виникають або у вузьких протоках, або у глибині довгих заток [2]. Особливо великі припливи бувають у вузьких бухтах, де припливна хвиля, яка йде з океану, значно підвищується. Наприклад, на Далекому Сході, в затоці Охотського моря з назвою Пенжинська (в інших авторів – Гижигинська) губа, висота припливної хвилі

сягає ~ 13 м. А в гирлі річки Севери в Англії приплив ще вищий – до 14,5 м. Найбільш значні припливи спостерігаються у затоці Фунді (у різних авторів – Фанді, Фенді), на східному березі Канади. Ця затока розташована між материком і півостровом Нова Шотландія. Тут амплітуда від 4 м при вході зростає до 16 – 18 м у глибині затоки [3, с. 17]. Під час сизигійних припливів у ній спостерігалися амплітуди більше 20 м. Якщо ж береги океану достатньо плоскі (наприклад, у Франції), підйом води під час припливу може на багато кілометрів змінити положення границі між суходолом і морем.

#### Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок.

Продемонстровано ефективність інтегративного підходу до вивчення навчального матеріалу у процесі підготовки учителів природничих наук.

Визначено межі застосовності статичної теорії припливів і відпливів.

Показано, що вона справедлива для випадку, коли період коливань припливоутворюючої сили більший від періоду власних коливань поверхні води в океані.

Розглянуто елементи динамічної (як більш реальної) теорії припливів і відпливів, яка ґрунтується на уявленнях про поведінку води в океані, як певної механічної системи, якій притаманні власні частоти вільних коливань.

#### СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Бородин А.И., Бугай А.С. Биографический словарь деятелей в области математики. Киев: Радянська школа, 1979. 608 с.
2. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. Москва: Гостехиздат. Т. 1–2, 3-е изд., 1954 – 1955.
3. Вершинский Н.В. Морская книга. Москва: Педагогика, 1975. 76 с.
4. Волны на поверхности жидкости. URL: [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/0573.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0573.html) (дата звернення: 16.07.2021).
5. Гидромеханика. Физический энциклопедический словарь. Москва: Изд. Советская энциклопедия: Т. 1. 1960. 664 с.
6. Гончаренко С.У. Фізика для допитливих. Механіка. Київ: Техніка, 1970. 276 с.
7. Дарвин Дж.Г. Приливы и родственные им явления в Солнечной системе. 2-ое изд. Москва: Наука, 1965. 250 с.
8. Деев М.Г. Морские приливы. *География в школе*. 1997. №7. С. 32 – 38.
9. Дуванин А.И. Приливы в море. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1960. 392 с.
10. Ляницька К.С., Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Системно-синергетичний підхід до викладання фундаментальних наук у процесі підготовки учителів природничих дисциплін освітнього ступеня магістр. *Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи. Т. V [колективна монографія]*. Конін. Ужгород – Херсон: Посвіт, 2021. 428 с.
11. Інтегрований функціонально-галузевий підхід як чинник прогнозування і побудови моделей педагогічної природничо-наукової освіти: монографія / за ред. М.Т. Мартинюка, М.В. Декарчук. Умань: ФОП Жовтий О.О., 2013. 174 с.

12. Карпенко Н.І. Припливно-відпливні явища. *Рельєф морських берегів*. Львів: ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. 308 с.

13. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Формування навчального матеріалу міждисциплінарного змісту у процесі підготовки магістрів освітньої галузі «Природознавство». *International scientific and practical conference «Topical issues and challenges of physical and mathematical sciences»: conference proceedings*, March 5-6, 2021. Wloclawek, Republic of Poland: «Baltija Publishing». p. 37 – 42.

14. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Ільницька К.С. Методичні особливості використання системно-інтегративного підходу до викладання окремих тем фундаментальних наук. *Фізико-математична освіта*, 2021. Випуск 3 (29). С. 81 – 92.

15. Ламб Г. Гидродинамика. Москва: ОГИЗ, 1947. (Гл. VIII), 929 с.

16. Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех. Кн. 1. Физические тела. Москва: Наука, 1978. 208 с.

17. Парийский Н.Н. Земные приливы и внутреннее строение Земли. Москва: Изд. АН СССР. Сер. Геофиз., 1963. №2. С. 193 – 215.

18. Перельман Я.И. Занимательная астрономия. Москва: АСТРЕЛЬ, 2008. 284 с.

19. Приливы и отливы. *Физический энциклопедический словарь*. Москва: Изд. Советская энциклопедия, 1965. Т. 4. С. 201 – 202.

20. Сивухин Д.В. Курс общей физики. Т. I. Механика. Москва: Наука, 1974. 520 с.

21. Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости. Москва: Наука, 1977. 816 с.

22. Хильчевський В.К., Дубняк С.С. Основи океанології: підручник. 2-ге вид. Київ: ВПЦ Київський університет, 2008. 255 с.

23. Шокальский Ю.М. О приливах в мировом океане. Москва: ОГИЗ, 1931. 108 с.

24. Шулейкин В.В. Физика моря. 4-е издание. Москва: Наука, 1968. 1090 с.

REFERENCES

1. Borodin, A.I. & Bugaj, A.S. (1976). *Biograficheskij slovar' deyatelej v oblasti matematiki* [Biographical Dictionary of Figures in Mathematics]. Kyiv.

2. Velikanov, M.A. (1954 – 1955). *Dinamika ruslovyh potokov*. [Channel flow dynamics]. Moskva.

3. Vershinskij, N.V. (1975). *Morskaya kniga* [Nautical book]. Moskva.

4. *Volny na poverhnosti zhidkosti* [Waves on the surface of a liquid].

5. *Gidromekhanika. Fizicheskij enciklopedicheskij slovar'* (1960). [Hydromechanics. Physical encyclopedic dictionary]. Moskva.

6. Honcharenko, S.U. (1970). *Fizyka dlia dopytlyvykh. Mekhanika* [Physics for the curious. Mechanics]. Kyiv.

7. Darvin, Dzh.G. (1965). *Prilivy i rodstvennye im yavleniya v Solnechnoj sisteme* [Tides and related phenomena in the solar system]. Moskva.

8. Deev, M.G. (1997). *Morskie prilivy. Geografiya v shkole* [Sea tides. Geography at school].

9. Duvanin A.I. (1960). *Prilivy v more* [Tides at sea]. Leningrad.

10. Ільницька, К.С. & Краснобокий, Ю.М. & Ткаченко, І.А. (2021). *Systemno-synerhetychnyi pidkhdid do vykladannia fundamentalnykh nauk u protsesi pidhotovky uchyteliv pryrodnychych dystsyplin osvitnoho stupenia mahistr.* [System-synergetic approach to the teaching of basic sciences in the

process of training teachers of natural sciences master's degree]. Konin - Uzhhorod – Kherson.

11. Martyniuk, M.T. & Dekarchuk, M.V. (2013). *Intehrovanyi funktsionalno-haluzevyi pidkhdid yak chynnyk prohnouzuvannia i pobudovy modelei pedahohichnoi pryrodnycho-naukovoї osvity* [Integrated functional-sectoral approach as a factor in forecasting and building models of pedagogical science education]. Uman.

12. Karpenko, N.I. (2009). *Pryplyvno-vidplyvni yavyskhcha. Relief morskyykh berehiv* [Tidal phenomena. Relief of the sea shores]. Lviv.

13. Krasnobokyi, Yu.M. & Tkachenko, I.A. (2009). *Formuvannia navchalnoho materialu mizhdystsyplinarnoho zmistu u protsesi pidhotovky mahistriv osvitnoi haluzi «Pryrodnavstvo»* [Formation of educational material of interdisciplinary content in the process of training masters of education «Science»]. Poland.

14. Krasnobokyi, Yu.M. & Tkachenko, I.A. & Іlnitska, K.S. (2021). *Metodychni osoblyvosti vykorystannia systemno-intehratyvnoho pidkhdodu do vykladannia okremykh tem fundamentalnykh nauk* [Methodological features of using a system-integrative approach to teaching certain topics of basic sciences].

15. Lamb, G. (2021). *Gidrodinamika* [Hydrodynamics]. Moskva.

16. Landau, L.D. & Kitajgorodskij A.I. (1978). *Fizika dlya vsekh. Kn. 1. Fizicheskie tela* [Physics for everyone. Book. 1. Physical bodies]. Moskva.

17. *Parijskij, N.N. (1963). Zemnye prilivy i vnutrennee stroenie Zemli* [Earth's tides and the internal structure of the Earth]. Moskva.

18. Perel'man, YA.I. (2008). *Zanimatel'naya astronomiya* [Entertaining astronomy]. Moskva.

19. *Prilivy i otlivy. Fizicheskij enciklopedicheskij slovar'* (1965) [Physical encyclopedic dictionary.]. Moskva.

20. Sivuhin, D.V. (1974). *Kurs obshchej fiziki. Mekhanika* [General physics course. Mechanics]. Moskva.

21. Sretenskij, L.N. (1977). *Teoriya volnovykh dvizhenij zhidkosti* [The theory of wave motion of fluid]. Moskva.

22. Khilchevskiy, V.K. & Dubniak, S.S. (2008). *Osnovy okeanolohii* [Fundamentals of oceanology]. Kyiv.

23. Shokalskij, YU.M. (1931). *O prilivah v mirovom okeane* [About the tides in the world's oceans]. Moskva.

24. Shulejkin, V.V. (1968). *Fizika morya* [Sea physics]. Moskva.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**КРАСНОБОКИЙ Юрій Миколайович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

**Наукові інтереси:** теорія та методика навчання природничих наук.

**ТКАЧЕНКО Ігор Анатолійович** – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини

**Наукові інтереси:** теорія та методика навчання природничих наук.

**ІЛЬНИЦЬКА Катерина Сергіївна** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини

**Наукові інтереси:** теорія та методика навчання природничих наук.



## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**KRASNOBOKY Yuriy Mykolayovych** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

*Circle of research interests:* theory and methods of teaching natural sciences.

**TKACHENKO Igor Anatoliyovych** – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

*Circle of research interests:* theory and methods of teaching natural sciences.

**ILNITSKA Kateryna Serhiivna** – Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

*Circle of research interests:* theory and methods of teaching natural sciences.

Стаття надійшла до редакції 02.11.2021р.

УДК 378.1 : 37.026.4 : 72.012

DOI: 10.36550/2415-7988-2021-1-201-98-101

**ЛИХОЛАТ Олена Віталіївна** –

кандидат педагогічних наук, доцент,

доцент кафедри теорії і практики технологічної та професійної освіти

ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-7819-0903>

e-mail: lykholato@gmail.com

### ДИЗАЙН ВІЗУАЛІЗАЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ЯК АСПЕКТ ОПТИМІЗАЦІЇ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ ВЧИТЕЛЯ

**Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.** Сучасна фахова підготовка вчителя неможлива без використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) [8; 4]. Розвиток та впровадження ІКТ у систему освіти сприяє актуалізації проблеми розробки й використання нових за формою та змістом навчальних матеріалів, які супроводжують освітній процес, візуалізують навчальний контент. Зміні дедалі піддаються наочні засоби навчання. Так, звичайну дошку з крейдою частково або повністю замінили мультимедійні інтерактивні дошки, а використовувані на заняттях статичні плакати й схеми перетворюються на навчальні мультимедійні презентації.

Інформаційне середовище, що перенасичене інформаційним шумом і в межах якого відбувається фахове становлення сучасного вчителя, дедалі активніше змінюється у бік штучності, віртуальності. А штучно створене інформаційне середовище впливає та змінює не тільки навколишнє навчальне середовище, але й профілі особистостей, когнітивне мислення усіх без виключення учасників навчального процесу [4]. Дедалі все більше у навчальному процесі застосовуються дистанційні форми навчання, віртуальні класи й бібліотеки, електронні 2D та 3D графічні наочності. Візуальні навчальні матеріали, що базовані на поєднанні в єдине ціле текстової інформації з графікою, стисненні абсолютного обсягу навчального контенту, відіграють в цьому процесі особливу роль [1]. Сучасний вчитель має бути готовим до продуктивного опрацювання великих обсягів навчальної інформації й здатним проектувати власні дидактичні наочні матеріали з урахуванням основ візуальної культури.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливостям унаочнення навчальної інформації в освітньому процесі присвятили свої дослідження С. Арюткін, Ф. Барлетт, Д. Безуглий, Л. Білоусова,

Г. Брянцева, А. Вербицький, С. Герасимова, О. Дудка, Н. Житеньова, Р. Загорський, В. Каган, В. Койбічук, О. Лаштун, А. Логвін, Н. Манько, Є. Полякова, Д. Поспелов, А. Рапуто, Г. Селевко, О. Семеніхіна, С. Сергєєв, О. Удовиченко, М. Хенакі, Д. Шеховцова, А. Юрченко та інші. Численні психолого-педагогічні дослідження вчених (П. Анохін, Е. Артем'єв, В. Давидов, Г. Дорофєєв, Н. Жинкін, Т. Зінченко, Є. Кабанова-Меллер, З. Калмикова, А. Смірнов, А. Соколов, В. Якиманська та інші) свідчать про дієвість впливу наочності на процес сприйняття й засвоєння навчальної інформації у процесі становлення освіченої особистості. Комп'ютерній візуалізації навчального матеріалу, як засобу підвищення ефективності освітнього процесу в закладах освіти при викладанні конкретних навчальних дисциплін, присвятили свої дослідження І. Андрощук, І. Косенко, С. Лозовенко, Є. Малкіна, О. Мансуров, М. Некрасова, Л. Сидорова, А. Соболев, Б. Стариченко, К. Татарінов, А. Тумалєв, С. Шушкевич та інші. Водночас проблема грамотного дизайну візуальних навчальних матеріалів, на наш погляд, висвітлена недостатньо, тому вважаємо актуальною означену проблему особливо в аспекті фахової підготовки майбутнього вчителя.

**Мета статті** полягає у теоретичному обґрунтуванні необхідності використання законів та засобів дизайну при створенні компактних візуальних навчальних матеріалів для їх зручного сприйняття й розуміння здобувачами освіти, а також ефективного засвоєння навчального контенту в період фахової підготовки вчителя.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети використано комплекс таких методів дослідження, як: аналіз педагогічної та спеціальної літератури з теми дослідження; узагальнення досвіду з питань дизайну наочностей, зокрема презентацій; вивчення наукових джерел для