

Отримання взаємозамінних відбивачів при заданій поверхні відбитих променів в архітектурній акустиці

Юрій Козак

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
oelpost@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8723-3779

DOI: 10.32347/2310-0516.2019.13.32-39

Анотація. Під час проектування видовищних залів у архітектора виникає необхідність використання складних форм внутрішнього оздоблення. Ці форми можуть використовуватись як відбиваючі екрани для підсилення перших відбиттів звуку для покращення чутності, для збільшення дифузності звуку та перенаправлення відбиттів в задані області залу. Управління звуковою енергією можливо при відомому характері відбиттів. Дослідження акустики залів базується на побудові поверхонь відбитих променів від плоских перерізів відбиваючих поверхонь. Відбивачі, що розглядаються, можуть бути плоскими, поверхнями другого та вищих порядків. Відповідно, поверхні відбитих променів набувають форм від плоского пучка прямих до складної форми вищих порядків.

Вздовж плоских перерізів відбиваючих поверхонь двопараметрична множина нормалей розшаровується на поверхні нормалей. На основі запропонованій класифікації відбиваючих поверхонь по типу поверхонь нормалей до плоских перерізів створена модель вирішення зворотної задачі отримання відбиваючих поверхонь по наперед заданим параметрам поверхні відбитих променів. Класифікація пропонує п'ять груп відбиваючих поверхонь. Перша група об'єднує відбивачі, для яких конгруенція нормалей розшаровується на плоскі пучки паралельних прямих. Друга - поверхні, вздовж твірних яких утворюються поверхні нормалей у вигляді гіперболічних параболоїдів. Третя група - це поверхні обертання з круговими конусами в якості поверхонь нормалей вздовж кіл перерізу площиною, перпендикулярною до осі поверхні. До четвертої групи відносяться циклічні, трубчаті, різні поверхні та окремі випадки інших поверхонь, у яких поверхня нормалей має вигляд плоского пучка прямих. П'ята група складається з поверхонь, для яких нормалі вздовж твірних створюють поверхню четвертого порядку. До таких відбиваючих поверхонь



Юрій Козак
Ст. викл. кафедри архітектурних
конструкцій

відносяться поверхні 2-го порядку загального виду. В середині однієї групи відбиваючі поверхні вздовж спільних перерізів мають спільні поверхні нормалей, поверхні дотичних та поверхні відбитих променів. Тобто, в якості відбивачів зазначені поверхні є взаємозамінними. Вздовж спільних ліній перерізу можна задавати однопараметричну множину поверхонь одного виду.

Ключові слова. Акустика; поверхня відбитих променів; поверхня нормалей; зворотна задача.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В акустичному розрахунку виникає необхідність побудови відбиваючих екранів для дифузного розповсюдження звукової енергії та перенаправлення на найбільш віддалених глядачів. Пряма задача знаходження відбиттів від акустичних екранів у вигляді поверхонь другого та вищих порядків вирішується геометричними методами та методами аналітичної геометрії шляхом побудови поверхонь відбитих променів. Завдяки запропонованій класифікації відбивачів по типу поверхонь нормалей по лініям плоских перерізів можна вирішити зворотну задачу побудови відбиваючих поверхонь при відомих поверхнях відбитих променів. При побудові виникає однопараметрична множина відбиваючих поверхонь одного виду. Зв'язуючи вільних параметр, отримуємо необхідну поверхню відбитих променів.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В публікації [1] приведені геометричне обґрунтування використання торсових поверхонь в якості відбивачів звукової енергії з можливістю трансформації. Наданий аналітичний опис поверхні відбитих променів від твірних торсових поверхонь.

В публікації [2] розглянуто теоретичні питання утворення торсових поверхонь та їх властивостей в якості відбивачів променів.

В публікації [3] відома властивість множини променів залишатись нормальними конгруенціями при будь-якій кількості відбиттів та заломлень поширена на явища відбиття, заломлення і дифрагування та їх комбінації при всіх видах джерел падаючих променів: точкових власних і невластних, лінійних (прямі і криві), площинних та поверхневих.

В публікаціях [4, 5] показана побудова потоків відбитих променів від різних поверхонь з використанням розшарування конгруенцій нормалей відбиваючих поверхонь на прості поверхні нормалей: плоскі пучки, конічні поверхні, гіпарі та інші з наступним утворенням поверхонь відбитих променів. Для відбиваючих нерозгортних поверхонь 2-го порядку виникає розшарування конгруенцій вздовж ліній перерізів з отриманням лінійчатих поверхонь відбитих променів 3-4 порядків. При цьому враховано, що дотичні площини вздовж ліній перерізів утворюють конічні поверхні. Це зводить побудову для ряду поверхонь до побудов для перерізів конічних поверхонь при вирішенні задач світлотехніки та акустики.

Дослідження поверхонь нормалей у вигляді пучків паралельних прямих, гіпарів, конічних поверхонь та поверхонь 4-го порядку для побудови відбиттів продовжено в публікаціях [6, 7, 8]. Розглянуто алгоритм написання рівняння поверхні відбитих променів.

Акустичне проектування використовує методи розрахунку та вимоги до залів, що розглянуто в [9, 10].

Методи проектування сучасних оболо-

нок в будівництві розглянуто в [11, 12, 13, 14]. Принципи розвитку проективної геометрії, використання диференційної геометрії в проектуванні та імплементація досліджень торсових поверхонь в сучасній архітектурі приведені в [15, 16, 17]. Дослідження аналітичних поверхонь, їх аналітичний опис та візуалізація надані в [18, 19, 20].

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Кожна з п'яти груп з класифікації поверхонь відбитих променів, згідно визначення, має свої поверхні нормалей та дотичних, та, відповідно, спільні поверхні відбитих променів. В попередніх дослідженнях написані рівняння поверхонь відбитих променів для кожної з п'яти груп. Змінні коефіцієнти рівняння поверхонь відбивачів відповідають певному виду відбивача.

Вирішення зворотної задачі постає в побудові відбивача при відомій поверхні відбитих променів. Для задання поверхні, необхідно зв'язати параметри форми та положення. Щоб задати поверхню другого порядку необхідно зв'язати дев'ять параметрів. Так, для кожної з п'яти груп відбивачів існують свої способи задання поверхні при вирішенні зворотної задачі. Для побудови або рівноцінної заміни відбиваючої поверхні запропоновано брати базову поверхню, яка одночасно є відбивачем і огинаючою однопараметричної множини дотичних площин вздовж перерізу відбиваючих поверхонь, та замінювати її на поверхню з групи. Вирішення зворотної задачі має ∞^1 рішень для кожної з вибраних поверхонь, тобто, завжди залишається як мінімум один вільний параметр. Параметри відбивача зв'язані дотичною поверхнею вздовж лінії відбиття та самою лінією. З двохпараметричної множини поверхонь відбиття, які проходять через відбиваючу криву, необхідно виділити відбиваючу поверхню, обмеживши параметри цієї поверхні (таблиця 1) площиною для I групи, гіпаром для II, круговим конусом для III, циліндром для IV та конусом еліптичним для V групи. Однопараметрична множина поверхонь, положення в просторі яких зв'язано відбива-

ючою лінією, а форма задається проектувальником завдяки вибору вільного параметру, виділяється з конгруенції поверхонь.

Пропонується наступний алгоритм знаходження відбиваючої поверхні при заданих параметрах відбитих промені. Розглянемо його на прикладі поверхонь п'ятої групи. Перше – для кожної з п'яти груп необхідно виділити базову поверхню, яка одночасно є відбиваючим екраном з групи та огинаючою однопараметричної множини площин, дотичних до лінії перерізу. Для п'ятої групи це буде конус 2-го порядку. Друге – обрати заміну поверхню, наприклад, еліпсоїд. Твірні конусу другого порядку будуть дотичними до відбиваючої лінії еліпсоїда.

Табл. 1. Визначення базової поверхні
Table 1. Determination of base surface

| № групи | Відбиваюча поверхня | Відбиваюча твірна | Дотичні до відбиваючої твірної (базова) |
|---------|---|--------------------|---|
| I | Площина, циліндр, конус, торс | пряма | площина |
| II | Гіпар, однопорожнинний гіперболоїд, коноїди, гелікоїд | пряма | гіпар |
| III | Каналові поверхні | коло | круговий конус |
| IV | Різні, трубчасті | крива 2-го порядку | циліндр |
| V | Поверхні 2-го порядку загального виду | крива 2-го порядку | конус 2-го порядку |

Третє – напишемо рівняння конусу дотичних відносно системи координат з центром в центрі еліпсоїда. Звільнюючи в цьому рівнянні параметр, який відповідає за відстань від початку координат до площини, яка перетинає еліпсоїд, отримаємо однопараметричну множину конусів, дотичних до еліпсоїда. З цього рівняння знаходимо рівняння залежності вершини конусу від центру еліпсоїда. Четверте – напишемо

рівняння еліпсоїда в системі координат з центром в вершині конуса, користуючись даними з попередніх рівнянь. Вільний параметр відстані від вершини конуса до центра еліпсоїда дають однопараметричну множину еліпсоїдів, вписаних в конус дотичних по лінії відбиття.

Розглянемо докладніше. Базовими поверхнями необхідно вибрати поверхні з групи. Такими поверхнями є поверхні дотичних до відбиваючих твірних групи (табл.1). Одночасно, як видно, базова поверхня є одною з відбиваючих поверхонь групи. В якості базової відбиваючої поверхні для п'ятої групи буде конус другого порядку.

Розглянемо в якості заміної поверхні еліпсоїд.

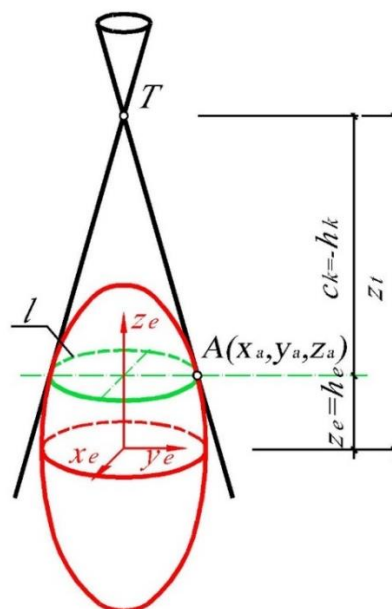


Рис.1. Модель побудови конусу дотичних до еліпсоїда.

Fig.1. Model of construction of tangents cone to ellipsoid.

Проекція еліпсоїда на площину $y_e O z_e$ має вигляд:

$$\frac{y^2}{b_e^2} + \frac{z^2}{c_e^2} = 1 \quad (1)$$

$$y_e = b_e \cos u, \quad z_e = c_e \sin u$$

де b_e , c_e – попувісі проєкції еліпсоїда на площину $y_e O z_e$.

Дотична в точці $A(y_a, z_a)$:

$$\frac{y_a y}{b_e^2} + \frac{z_a z}{c_e^2} = 1 \quad (2)$$

При $y=0$, знаходимо відстань від центра еліпсоїда до вершини конусу z_t :

$$z_t = \frac{c_e^2}{z_a} = \frac{c_e^2}{h} \quad (3)$$

Рівняння прямої TA де $A(x_a, y_a, z_a)$, $T(x_t, y_t, z_t)$ в параметричному вигляді:

$$\begin{aligned} x &= x_t + lt = x_t + (x_a - x_t)t = x_a t \\ y &= y_t + lt = y_t + (y_a - y_t)t = y_a t \\ z &= z_t + lt = z_t + (z_a - z_t)t \end{aligned} \quad (4)$$

Після заміни координат T, A на параметричне рівняння еліпса l та z_t з рівняння (1.3), отримаємо рівняння дотичного конусу T :

$$\begin{aligned} x &= a t \cos u \sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}, \\ y &= b t \sin u \sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}, \\ z &= \frac{c^2}{h} + \left(h - \frac{c^2}{h}\right)t, \end{aligned} \quad (5)$$

де похил конусу $a = a_e \sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}$,

$$b = b_e \sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}, \quad c_e = h - \frac{c^2}{h}.$$

При зміні параметра h отримаємо однопараметричну множину конусів, дотичних до перетинів еліпсоїда з площиною, перпендикулярною до осі z .

Для того, щоб задати еліпсоїд як відбиваючу поверхню, якою можна замінити конус як базову поверхню необхідно дев'ять параметрів – три параметра форми та шість параметрів положення. Для задання форми є еліпс l відбиття з полуосями a та b . Цей еліпс l є також лінією дотику конуса з вершиною T . Тобто, він одночасно

належить конусу та еліпсоїду. Прийнемо початок координат в вершині конусу T . Напишемо рівняння еліпсоїда, вписаного в конус по лінії дотику l . Для цього виразимо значення полуосей еліпсоїда через параметри дотичного конуса. Задамо параметри a_l, b_l – полуосі еліпсу l , a_k, b_k, c_k – полуосі основи та висота конусу, a_e, b_e, c_e – полуосі еліпсоїду. Таким чином, полуосі еліпсу l можна записати:

$$a_l = a_k = a_e \sqrt{1 - \frac{h^2}{c_e^2}} \quad (6)$$

$$b_l = b_k = b_e \sqrt{1 - \frac{h^2}{c_e^2}}$$

де $h = z_t - c_k$.

З урахуванням (3) та після підстановок, отримаємо:

$$\begin{aligned} a_e &= \frac{a_k}{\sqrt{1 - \frac{z_t - c_k}{z_t}}} \\ b_e &= \frac{b_k}{\sqrt{1 - \frac{z_t - c_k}{z_t}}} \\ c_e &= \sqrt{z_t(z_t - c_k)} \end{aligned} \quad (7)$$

Тоді, рівняння еліпсоїда, вписаного в конус загального виду з початком координат в вершині дотичного конусу, буде:

$$\begin{aligned} x &= a_e \cos u \cos v = \frac{a_k \cos u \cos v}{\sqrt{1 - \frac{z_t - c_k}{z_t}}} \\ y &= b_e \cos u \sin v = \frac{b_k \cos u \sin v}{\sqrt{1 - \frac{z_t - c_k}{z_t}}} \end{aligned} \quad (8)$$

$$z = z_t + c_e \sin u = z_t + \sqrt{z_t(z_t - c_k)} \sin u$$

Саме ця математична модель взаємозамінності відбиваючих поверхонь дозволяє використовувати різноманітні поверхні другого порядку з однаковими відбиттями

від лінії дотику цих відбиваючих поверхонь. По-перше, ми отримаємо однопараметричну множину еліпсоїдів зі спільним еліпсом дотику до конусу 2-го порядку. Тобто, можна використовувати множину відбивачів у формі еліпсоїду. По-друге, завдяки представленій математичній моделі замінними можуть бути інші поверхні другого порядку, такі як однопорожнинний

гіперboloїд, двопорожнинний гіперboloїд, параболоїд. На основі отриманого рівняння побудовані вписані еліпсоїди в конус відбиття (рис.2). Від отриманих поверхонь дотичного конусу - базової поверхні п'ятої групи та вписаного еліпсоїда будуються поверхні відбитих променів, які співпадають (рис.3).

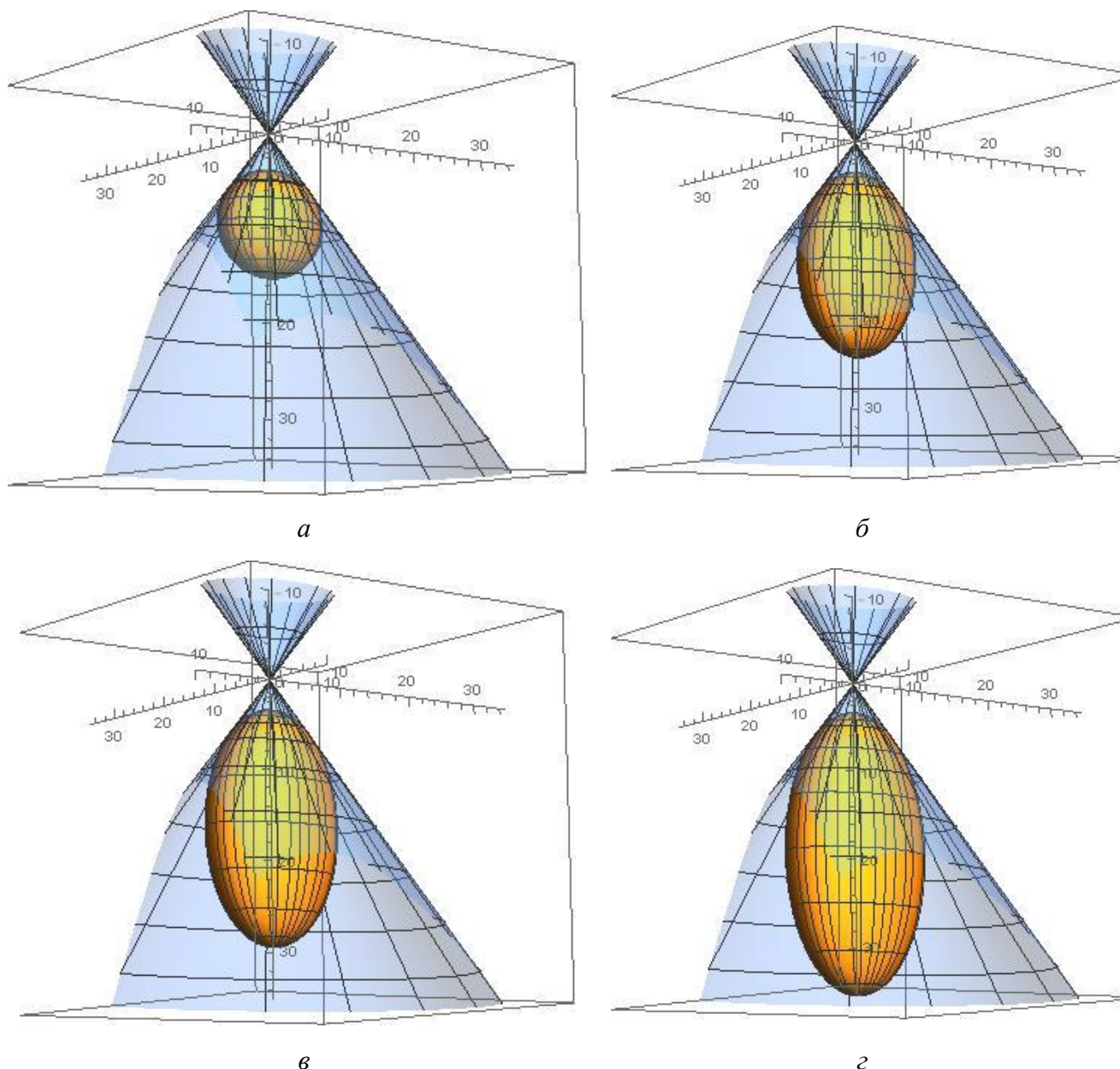


Рис.2. Побудова вписаного еліпсоїда в конус дотичних за рівнянням (8): *a* – при значенні $z_t=8$, *б* – при значенні $z_t=12$, *в* – при значенні $z_t=16$, *г* – при значенні $z_t=20$.

Fig.2. Construction of ellipsoid that is inscribed in tangent cone according to equation (8): *a* – $z_t=8$, *б* – $z_t=12$, *в* – при значенні $z_t=16$, *г* – при значенні $z_t=20$.

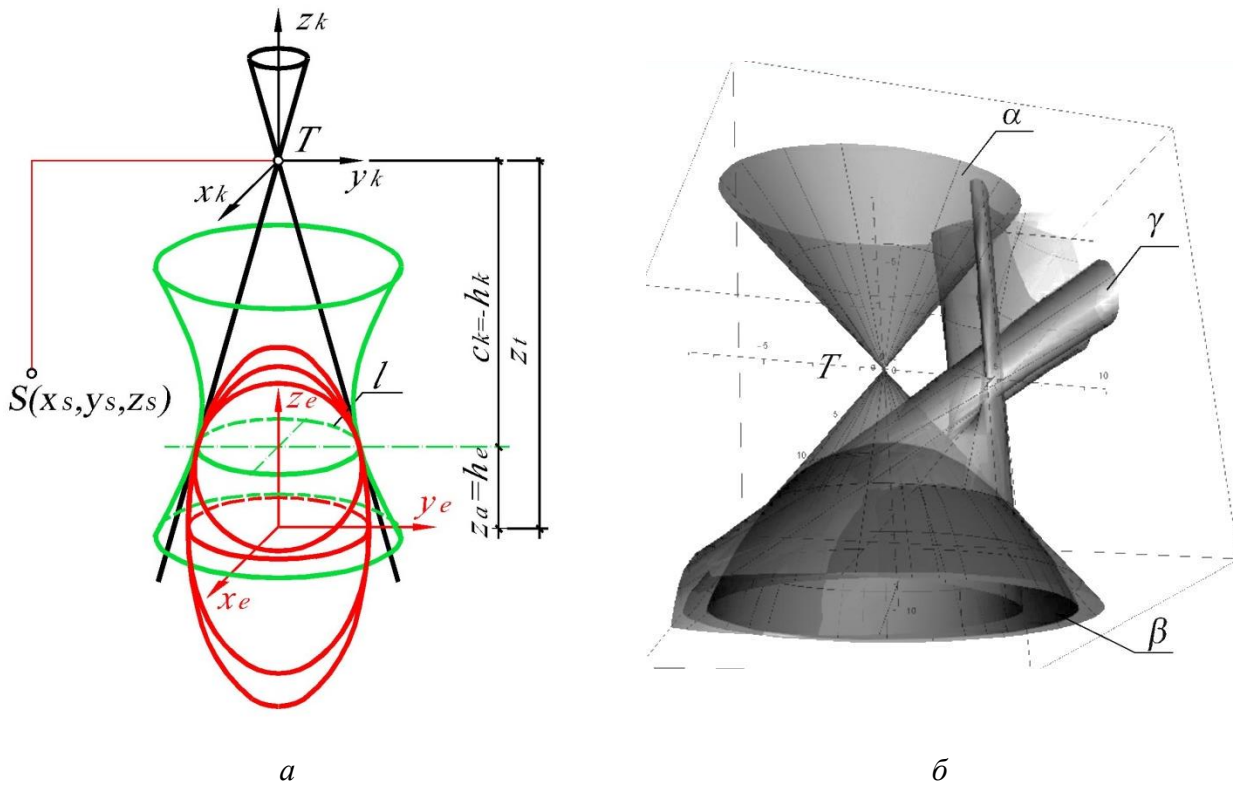


Рис.3. Побудова відбиваючих поверхонь п'ятої групи : а – модель побудови відбиваючих поверхонь п'ятої групи; б – побудова дотичного конуса α , еліпсоїда β та поверхні відбитих променів γ в програмі Mathematica.

Fig.3. Construction of reflecting surfaces of 5th group: а– construction model for for reflecting surfaces of 5th group; б – construction of tangent conne α , ellipsoid β and surface of reflected rays γ in Mathematica.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В статті розглядаються часні випадки побудови замінних поверхонь для п'ятої групи. Аналітичними викладками та побудовами в програмних математичних комплексах запропоновано метод вирішення зворотної задачі отримання відбиваючих поверхонь при наперед заданій поверхні відбитих променів.

Подальші дослідження в області вирішення зворотної задачі покликані розширити перелік відбиваючих поверхонь, які можна задавати. Складення системи взаємозамінності надасть можливість архітекторам та інженерам акустикам користуватись автоматизованими методами побудови відбиваючих поверхонь та перевіряти відбиття від них під час акустичних розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Підгорний О., Козак Ю. Використання торсових поверхонь в якості акустичних екранів. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ. КНУБА. 2018. 11. 77-86.
2. Підгорний О. Можливості використання торсових поверхонь в якості відбивачів сонячних променів (продовження). *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ. 2017. 9. 194-197с.
3. Підгорний О. Моделювання ланцюжків прямих, відбитих, заломлених та дифрагуючих випромінювань на основі об'єднання хвильового та променевого трактувань розповсюдження коливань. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. Харків. 2004. 4. 20-31с.

4. **Подгорный А.** Поверхности отражённых лучей. *Прикладная геометрия и инженерная графика. Киев.* 1975. 20. 13 -16с.
5. **Підгорний О.** Розшарування конгруенцій нормалей поверхонь 2-го порядку вздовж ліній плоских перерізів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка. КДТУБА.* 1996. 60. 8-14 с.
6. **Козак Ю.** Дослідження поверхонь нормалей як засіб систематизації поверхонь відбиття. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Київ. КНУБА.* 2013. 5. 66-69с.
7. **Козак Ю.** Геометричне моделювання відбиттів від торсових поверхонь. *Сучасні проблеми моделювання: збірник Наукових Праць. МДПУ ім. Хмельницького. Мелітополь.* 2017. 9. 63-68с.
8. **Козак Ю.** Естественная акустика залов как фактор энергосбережения. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Politechnika Chestochowska.* 2014. 41-48 с.
9. **Ermann M.** Architectural acoustics illustrated. *New Jersey:John Wiley & Sons.* 2015. 266p.
10. **Alton F., Ken C.,** Master Handbook of Acoustics. *New York:Mc Graw-Hill.* 2009. 510p.
11. **Krivoshapko S.** Static analysis of shells with developable middle surfaces. *Applied Mechanics Reviews (USA).* 1998. 12(1).731-746p.
12. **Pottmann H., Wallner J.** Computational Line Geometry. *Springer-Verlag, Berlin.* 2001. 565p.
13. **Maan H.** Design of Plate and Shell Structures. *New York. ASME.* 2004. 476p.
14. **Renton J.** Characteristic response of hollow cones. *J.Elast.* 1997. 49(2). 101-112p.
15. **Jürgen R.-G.** Perspectives on Projective Geometry: A Guided Tour through Real and Complex Geometry. *Springer, Berlin.* 2011. 571p.
16. **Gray A.** Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica, 2nd ed. *Boca Raton, CRC Press LLC.* 1997. 531p
17. **Glaeser G., Gruber F.** Developable surfaces in contemporary architecture. *Journal of Mathematics and the Arts.* 2007. 1(1). 59-71 p.
18. **Krivoshapko S., Ivanov V.** Encyclopedia of Analytical Surfaces. Springer International Publishing Switzerland. 2015. 752p.
19. **Agnew A., Bobe A., Boskoff W., Suceava B.** Tzitzeica Curves and Surfaces. *The Mathematica Journal.* 2010. 12. 1-18p.
20. **Barrère R.** An Analytical Approach to Form Modeling As an Introduction to Computational Morphology. *The Mathematica Journal.* 2009. 11(2). 186-225p

REFERENCES

1. **Podgorny O. Kozak Yu. (2018).** Vykorystannya torsovyh poverhon v yakosti akustychnyh ekraniv. *Prikladnaya geometriya i inzhenernaya grafika. Kiev.* 11, 77-86.
2. **Podgorny O. (2017).** Mozhlyvosti vykorystannya torsovyh poverhon v yakosti vidbyvachiv sonyachnyh promeniv.(prodovzhennya) *Energoefectyvnist v budivnyctvi ta arhitekturi. Kyiv.* 9, 194-197.
3. **Podgorny O. (2004).** Modelyuvannya lancuzhkiv pryamyh, vidbytyh, zalomlennyh ta dyfraguuchyh vyprominuvan na osnovi obednannya hvyloвого ta promenevogo traktuvan rozpovsudzhennya kolyvan. *Geometrychne ta komputerne modeluvannya. Harkiv.* 4, 20-31.
4. **Podgorny O. (1975).** Poverhnosty otrazhennyh luchey. *Prikladnaya geometriya i inzhenernaya grafika. Kiev.* 20(13), 16.
5. **Pidgorny O. (1996).** Roztashuvannya kongruencyi normalay poverhon 2-go poryadku vzdovz liniy ploskyh pereriziv. *Prikladnaya geometriya i inzhenernaya grafika. Kiev.* 60, 8-14.
6. **Kozak Yu. (2013).** Doslidgennya poverhon normalay yak zasib systematyzacii poverhon vidbyttya. *Energoefectyvnist v budivnyctvi ta arhitekturi. Kyiv.* 5, 66-69.
7. **Kozak Yu. (2017).** Geometrychne modeluvannya vidbyttiv vid torsovyh poverhon. *Suchasni problem modeluvannya. Zbirnyk naukovykh prac. Melitopol.* 9, 63-68.
8. **Kozak Yu. (2014).** Estestvonnaya akustika zalov kak factor energosberegeniya. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Politechnika Chestochowska.* 41-48.
9. **Ermann M. (2015).** Architectural acoustics illustrated. *New Jersey:John Wiley & Sons.* 266.

10. **Alton F., Ken C. (2009).** Master Handbook of Acoustics. *New York:Mc Graw-Hill.* 510.
11. **Krivoshapko S.N. (1998).** Static analysis of shells with developable middle surfaces. *Applied Mechanics Reviews (USA).*12(1),731-746.
12. **Pottmann H., Wallner J. (2001).** Computational Line Geometry. *Springer-Verlag, Berlin,*565.
13. **Maan H. (2004).** Design of Plate and Shell Structures. *New York. ASME,* 476.
14. **Renton J. (1997).** Characteristic response of hollow cones. *J. Elast.* 49(2),101-112.
15. **Jürgen R.-G. (2011).** Perspectives on Projective Geometry: A Guided Tour through Real and Complex Geometry. *Springer, Berlin,* 571.
16. **Gray A. (1997).** Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica, 2nd ed. *Boca Raton, CRC Press LLC,* 531.
17. **Glaeser G., Gruber F. (2007).** Developable surfaces in contemporary architecture. *Journal of Mathematics and the Arts.* 1(1). 59-71.
18. **Krivoshapko S., Ivanov V. (2015).** Encyclopedia of Analytical Surfaces. Springer International Publishing Switzerland,752.
19. **Agnew A., Bohe A., Boskoff W., Suceava B. (2010).** Tzitzeica Curves and Surfaces. *The Mathematica Journal.* 12,1-18.
20. **Barrère R. (2009).** An Analytical Approach to Form Modeling As an Introduction to Computational Morphology. *The Mathematica Journal.* 11(2), 186-225.

Using of Developable Surfaces As Acoustics Screens

Yury Kozak

Summary. In problems of modern acoustics it is necessary to construct reflections from surfaces of the 2- nd order and more complex ones. Due to

the proposed systematization of reflecting surfaces on the principle of surfaces of normal to their generatrix, reflective surfaces are divided into five groups. The first group includes reflectors with beams of parallel direct normals to generatrices of developable surfaces. As reflectors, the developable surfaces are convenient to use, they are easy to create, are scattered and their transformation makes it possible to universalize the spectacle halls by changing the position of the reflecting screens and their shape, which affects the formation of zones of reception of sound energy, its concentration or dispersion, and also due to the transformation it is possible to change the time of reverberation in the spectacle halls.

Developable surfaces are tangent to the intersection of the two surfaces of the second order or the double method is the method of running two surfaces of the second order or second order curves, or two curves of the second order. On the basis of these methods, the article deals with general methods of constructing developable surfaces of the 4-8th order of 3 and 4 classes and researches the properties of the congruence of the reflected rays, and, on the example of time cases, variants of the implementation of applied problems are offered. These cases are considered as most adaptable to the mechanical solution of the problem of constructing reflectors: developable surfaces obtained by rolling plane on two curves of the second order, which lie in parallel planes, perpendicular or at an angle. Due to the well-known equation of single-valued correspondence for the creation of torso surfaces, there is an analytical description of the surfaces of reflected rays. The congruence of normals of the developable surfaces is divided into a plane of parallel lines. The two-parameter set of reflected rays is divided into flat beams of straight lines, which can be constructed in two ways: relative to the surface of normal or tangent to the generatrix of developable surface.

Keywords. Acoustics; surface of reflected rays; surface of normal; reverse task.