

УДК 004.942

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ТРАСУВАННЯ ЗВУКОВИХ ПРОМЕНІВ В НЕОДНОРІДНОМУ ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ З ПЛОСКО-ПАРАЛЕЛЬНИМИ МЕЖАМИ

DOI 10.36994/2788-5518-2021-02-02-19

Гагарін О. О., доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», gagarin.info@gmail.com

Євтушенко А. М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», artemevtusenko238@gmail.com

Анотація. Поширення звуку можна описати математично у вигляді розв'язування хвильового рівняння з урахуванням граничних умов та особливостей середовища. Існує кілька теоретичних підходів до вирішення хвильового рівняння, але найпоширенішими є два: хвильова і променева теорія. Метою роботи є створення комп'ютерної технології трасування звукових променів в неоднорідному водному середовищі з плоско-паралельними межами, за допомогою якої можна проводити експерименти для оцінки зон покриття акваторій.

На сьогодні існують такі комп'ютерні системи, як BELLHOP і TRACEO, які є програмними реалізаціями моделей розповсюдження звуку на основі променевої теорії. Однак ці програми не мають графічного інтерфейсу користувача і взаємодія з ними вимагає спеціальних навичок. Виходячи з цього, актуальним є завдання розробки комп'ютерної системи з високошвидкісним та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом для вирішення задачі відстеження звукових променів у неоднорідному водному середовищі з плоско-паралельними межами.

В результаті роботи створена комп'ютерна система, яка вирішує описані проблеми. Дослідження, проведені з її допомогою, показали:

Втрати часу на обчислення значно залежать від складності профілю швидкості звуку. Однак навіть для складних профілів швидкості звуку система зберігає високу швидкість.

Система дає такий же результат, як і існуючі системи, але має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який не вимагає від користувача особливих навичок під час роботи з програмою.

Подальший розвиток створеної системи потребує розробки ефективних алгоритмів аналітичного методу побудови траєкторій променів, які б враховували рельєф дна водного середовища.

Ключові слова: звукова хвиля, трасування, водне середовище

COMPUTER SYSTEM OF TRACING OF SOUND BEAMS IN INHOMOGENEOUS AQUATIC ENVIRONMENT WITH PLANE-PARALLEL BOUNDARIES

Alexander Gagarin, Ass. Prof., National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", gagarin.info@gmail.com

Artem Yevtushenko, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", artemevtushenko238@gmail.com

Annotation. *The propagation of sound can be described mathematically in the form of solving a wave equation taking into account the boundary conditions and features of the environment. There are several theoretical approaches to solving the wave equation, but the most common are two: wave and ray theory. The aim of the work is to create a computer technology for tracing sound rays in an inhomogeneous aquatic environment with flat-parallel boundaries, with which you can conduct experiments to assess the coverage areas of the waters*

Today, there are computer systems such as BELLHOP and TRACEO, which are software implementations of sound tracking models. However, these programs do not have a graphical user interface and interact with them requires special skills. Based on this, the task of developing a computer system with high speed and intuitive interface to solve the problem of tracing sound rays in an inhomogeneous aquatic environment with flat-parallel boundaries is relevant

The result is a working computer system that solves problems. Studies conducted with its help showed:

Time losses for calculations significantly depend on the complexity of the sound speed profile. However, even for complex sound speed profiles, the system retains high performance.

The system gives the same result as existing systems, but has an intuitive interface that does not require special skills from the user when working with the program.

The development of the created system requires the development of effective algorithms for the analytical method of constructing trajectories of rays, which would take into account the relief of the bottom of the aquatic environment.

Keywords: *sound wave, tracing, aquatic environment*

Вступ

Розповсюдження звуку можна математично описати у вигляді розв'язання хвильового рівняння з урахуванням граничних умов та особливостей середовища. Існує два теоретичних підходи до розв'язання хвильового рівняння: хвильова та променева теорія [1]. Однією із задач, які можна вирішити за допомогою методів променевої теорії є відстеження акустичних променів для заданого профілю швидкості звуку.

На сьогодні існують комп'ютерні системи, такі як BELLHOP [2] та TRACEO [3], що являють собою програмні реалізації моделей відстеження звукових променів. Вище зазначені програми не мають графічного інтерфейсу для користувача і взаємодія з ними потребує спеціальних навичок. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що задача розробки комп'ютерної системи з високою швидкістю та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом для вирішення задачі трасування звукових променів в неоднорідному водному середовищі з плоско-паралельними межами є актуальною.

Метою роботи є створення комп'ютерної технології трасування звукових променів в неоднорідному водному середовищі з плоско-паралельними межами, програмна реалізація якої має високу швидкодію та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для взаємодії з користувачем.

Аналітичний метод побудови траєкторій звукових променів

Розглянемо аналітичний метод побудови траєкторії звукових променів, в основі якого лежить закон Снелла [1, 4]. Відомо, що причиною викривлень траєкторії звукового променя в морській воді є різна швидкість розповсюдження звуку, що залежить від температури води, її солоності та глибини занурення. Профіль швидкості звуку є відображенням залежності швидкості звуку від глибини занурення. Для кожної з ділянок профілю швидкості звуку, де спостерігається лінійна залежність, частина траєкторії звукового променя має форму дуги кола. Таким чином водне середовище можна поділити на водні шари з лінійною залежністю швидкості звуку від глибини [4, 5].

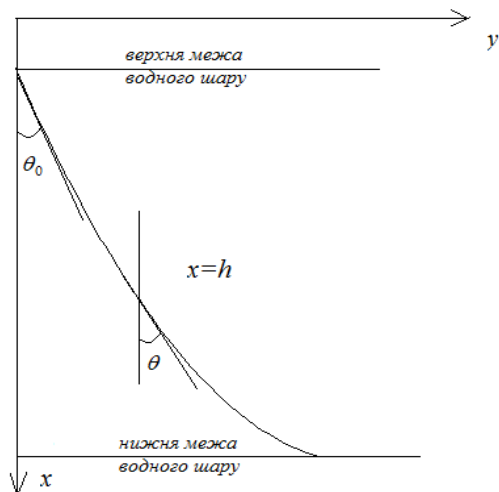


Рис. 1. Частина траєкторії звукового променя, який проходить крізь водний шар з лінійною залежністю швидкості звуку від глибини.

Розглянемо водний шар, для якого спостерігається лінійна залежність швидкості звуку від глибини занурення, при цьому зі збільшенням глибини швидкість звуку зростає. На рис. 1 зображено частину траєкторії звукового променя, що проходить крізь даний водний шар. Ця траєкторія є дугою кола з радіусом R , значення якого обчислюється за формулою (1):

$$R = \frac{c_0}{k \cdot \sin \theta_0}, \quad (1)$$

де R — радіус кола, м; c_0 — початкова швидкість звуку, м/с; k — коефіцієнт зміни швидкості звуку за глибиною, с-1; θ_0 — початковий кут випромінювання, рад.

Центр кола знаходиться в точці :

$$O' \left(-\frac{c_0}{k}; \frac{c_0 \operatorname{ctg} \theta_0}{k} \right). \quad (2)$$

Оскільки частиною траєкторії звукового променя є дуга кола, то для її побудови ми можемо підставити формулу радіуса (1) та координати центра кола в параметричне рівняння (6):

$$x = x' + R \cdot \cos(\phi), y = y' + R \cdot \sin(\phi), \quad (3)$$

де x, y – координати точки на колі; R – радіус кола; x', y' – координати центра кола; ϕ – кут повороту радіуса проти годинникової стрілки, починаючи від напрямку горизонтальної осі.

Якщо водне середовище є неоднорідним і складається з декількох водних шарів, то сполучаючи дуги кіл, побудовані для кожного водного шару, в одну лінію утворюємо траєкторію променя для водного середовища із заданим профілем швидкості звуку. Таким чином задача побудови траєкторії звукового променя зводиться до задачі сполучення дуг кіл різного радіусу[4].

Програмна реалізація

Засобами стандартної бібліотеки мови програмування C# в програмному середовищі MS Visual Studio 2010 було створено комп'ютерну систему трасування променів в неоднорідному водному середовищі з плоско-паралельними межами. Інтерфейс програми (рисунок 2) дозволяє користувачу задавати значення профілю швидкості звуку або зчитувати їх з текстового файлу. Також можуть задаватись значення глибини випромінювача, початкового та кінцевого кута випромінювання та кількість променів. Враховуючи те, що траєкторія променя періодично повторюється, в системі є можливість задати кількість таких періодичних повторень.

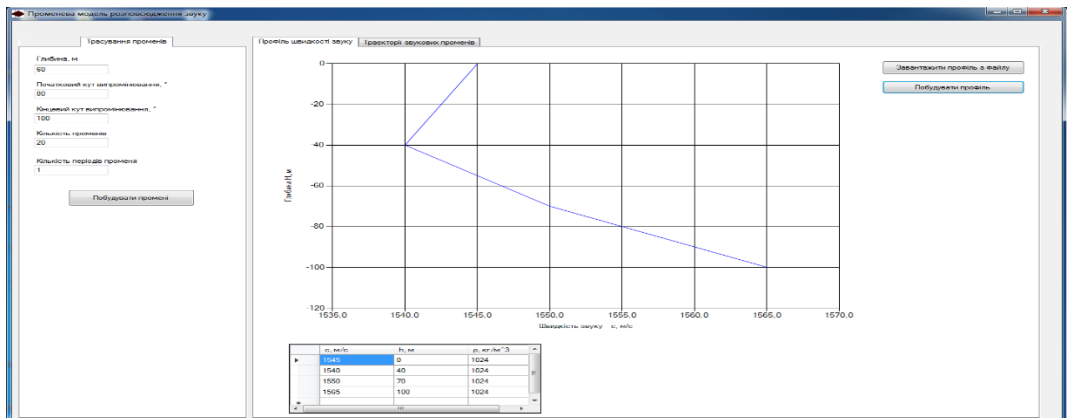


Рис. 2. Задання вхідних даних в системі

На рис. 3 зображено результати роботи програми для наступних вхідних параметрів: глибина водного середовища 100 м, глибина випромінювача 60 м,

початковий кут випромінювання 80° , кінцевий кут випромінювання 100° , в межах між початковим та кінцевим кутом випромінювання буде побудовано 20 променів, траєкторія кожного променя буде будуватись доки вона не почне повторюватись, профіль швидкості звуку зображений на рис. 2. Водне середовище має плоско-паралельні межі.

В програмі проводиться дослідження часу розрахунку точок траєкторій звукових променів. З результатів програми зображених на рис. 3 можна побачити, що система виконала розрахунок траєкторій 20 променів за 92 мілісекунди. Така висока швидкодія пов'язана з відносно простим профілем швидкості звуку, який складається лише з 3-х ділянок. Відповідно водне середовище за глибиною ділиться на 3 водні шари, кожен з яких відповідає лінійній ділянці профілю швидкості звуку. Чим менша кількість водних шарів, тим менша кількість часу потрібна на розрахунок траєкторій.

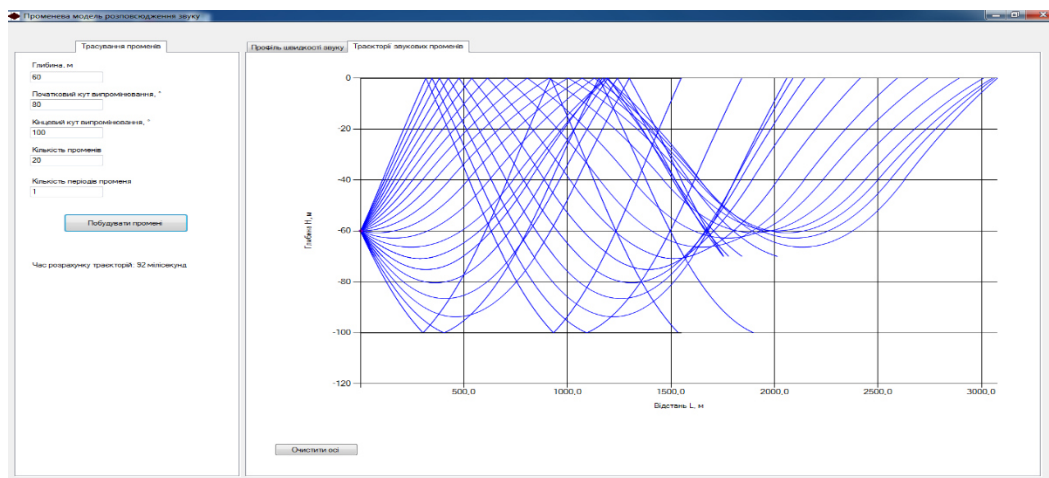


Рис. 3. Трасування звукових променів для заданих вхідних параметрів

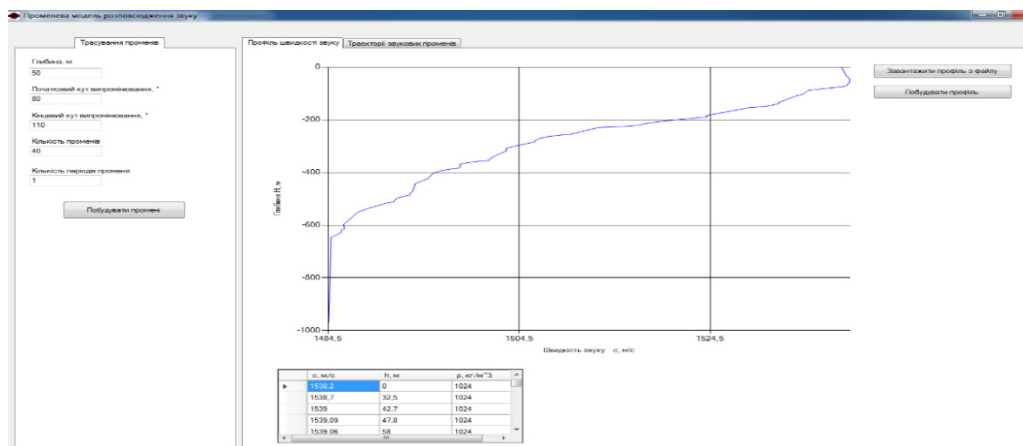


Рис. 4. Вхідні параметри з більш складним профілем звуку

Тепер перевіримо роботу комп'ютерної системи з більш складним профілем швидкості звуку.

Задамо наступні вхідні параметри в створеній програмі:

- профіль швидкості звуку зображений на рис. 4;
- глибина, на якій розташоване джерело звуку 50 м;
- глибина водного середовища 971 м;
- виконуватиметься побудова траєкторій 40 променів. На рис. 5 зображено результати роботи створеної комп'ютерної системи для заданих вхідних параметрів. На розрахунок 40 траєкторій променів система витратила 1,016 с. При цьому профіль швидкості звуку складається з 67 лінійних ділянок і водне середовище за глибиною ділиться на 67 водних шарів. Проте навіть для таких вхідних параметрів програма зберігає хорошу швидкодію.

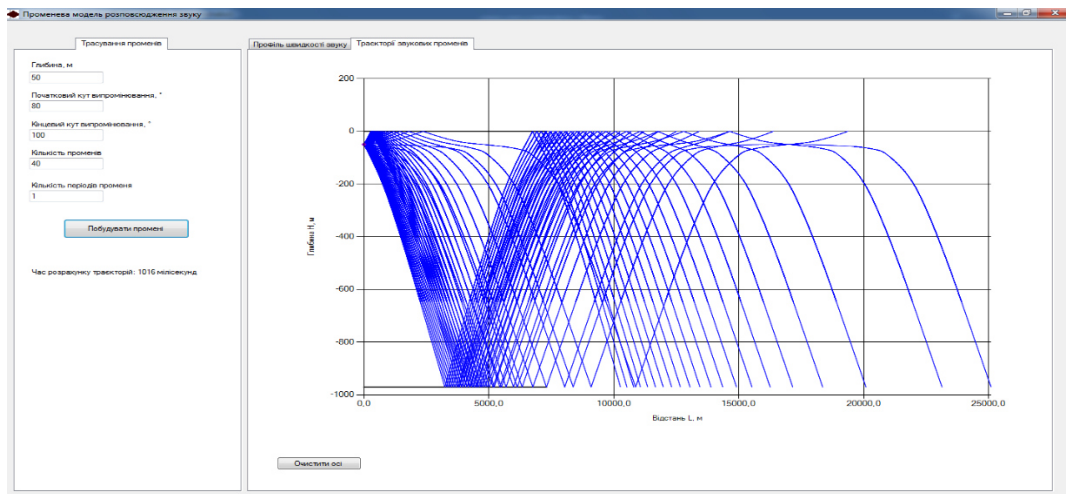


Рис. 5. Результати роботи програми для більш складного профілю звуку
Порівняння з результатами вже існуючих комп'ютерних систем

Для вже існуючих комп'ютерних систем BELLHOP і TRACEO є опис отриманих результатів [2, 3] для наступних вхідних параметрів:

- профіль швидкості звуку має вигляд зображений на рис. 6;
- глибина, на якій розташоване джерело звуку 1000 м;
- глибина водного середовища 5000 м;
- водне середовище має плоско-паралельні межі.

Перераховані вхідні параметри були задані в розробленій програмі для порівняння отриманих результатів з результатами роботи комп'ютерних систем BELLHOP і TRACEO.

Результати роботи створеної комп'ютерної системи для заданих вхідних параметрів зображено на рис. 7. Відповідно на розрахунок 40 траєкторій система витратила 417 мілісекунд. Час розрахунку променів збільшився за рахунок більш складного профілю швидкості звуку, який складається з 26

лінійних ділянок. Відповідно водне середовище за глибиною ділиться на 26 водних шарів.

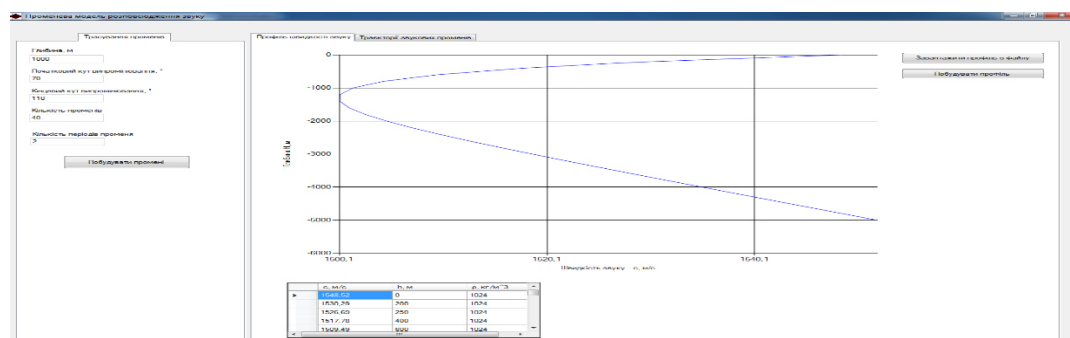


Рис. 6. Задання вхідних параметрів для порівняння з системами BELLHOP і TRACEO

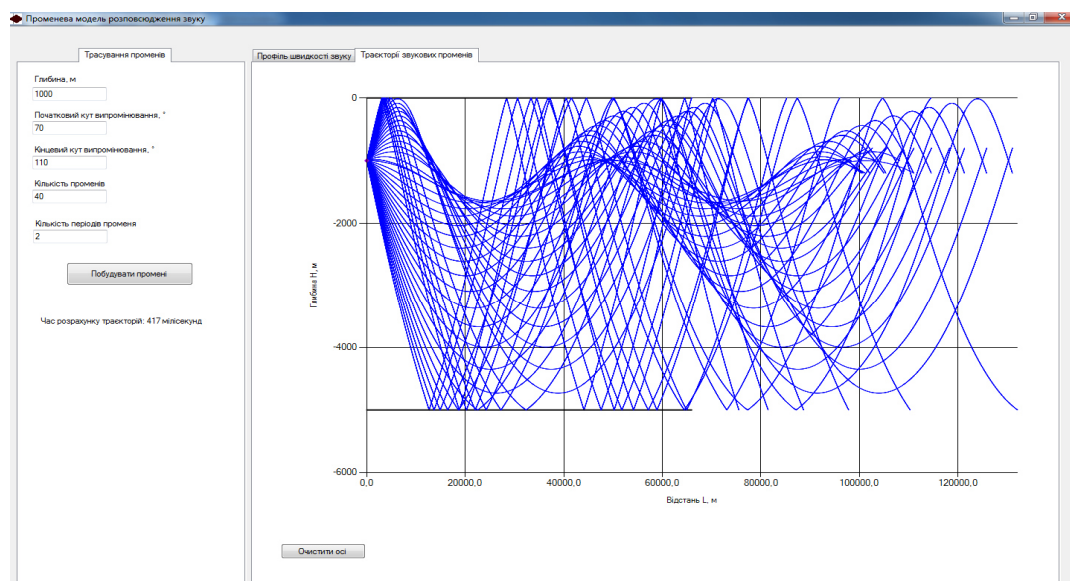


Рис. 7. Результати роботи програми для тих самих вхідних даних, що і в системах BELLHOP і TRACEO

Порівнявши отримані результати трасування променів з результатами отриманими за допомогою комп'ютерних систем BELLHOP [2] і TRACEO [3], можна зробити висновок, що розроблена система дає такий подібний результат як і ці дві вже існуючі системи. Головною перевагою створеної програми є достатня швидкодія та ітуїтивно зрозумілий інтерфейс, який не вимагає від користувача спеціальних навичок під час роботи з системою.

Висновки

Розроблено комп'ютерну систему трасування звукових променів в неоднорідному водному середовищі з плоско-паралельними межами. Для розрахунку траєкторій програмно реалізований аналітичний метод побудови променів, в основі якого лежить закон Снелла.

Проведено дослідження часу розрахунку точок траєкторій променів, в результаті якого встановлено, що час розрахунку залежить від складності профілю швидкості звуку. Проте навіть для складних профілів швидкості звуку система зберігає високу швидкодію.

Проведено порівняння результатів роботи розробленої системи з результатами комп'ютерних систем BELLHOP і TRACEO, в результаті якого встановлено, що система дає такий самий результат як і вже існуючі системи, при цьому має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який не вимагає від користувача спеціальних навичок під час роботи з програмою.

Створена комп'ютерна система дозволяє вирішити задачу відстеження звукових променів для заданого профілю швидкості звуку. При цьому водне середовище має плоско-паралельні межі. Одним із варіантів подальшого використання результатів цієї роботи є створення комп'ютерної технології трасування звукових променів на основі аналітичного методу побудови траєкторій ходу променів, яка б враховувала рельєф дна водного середовища.

Література

1. Урик Роберт Дж. Основы гидроакустики [Текст] : пер. с англ. / Дж Урик Роберт.— Л.: Судостроение, 1978. — 448 с.
2. Porter M. B. The BELLHOP manual and user's guide [Текст]: / M. B. Porter. -Preliminary draft, January 31, 2011. — 57 p.
3. Rodriguez Orlando Camargo. The TRACEO ray tracing program:/ Orlando Camargo Rodriguez. -Preliminary draft, January 31 2011. — 69 p.
4. Сташкевич А.П. Акустика моря[Текст] : / А.П. Сташкевич. — Л.: Судостроение, 1966. — 354 с.
5. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. [Текст] / Л. М. /Бреховских . — Москва: Изд-во «Наука», 1973. — 343 с.
6. Дубовик В.П. Вища математика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. : / В.П. Дубовик, І.І. Юрик. — 4-те вид.— К. : Ігнатекс-Україна., 2013. - 648 с.

References

1. Urik Robert J. Fundamentals of hydroacoustics [Text]: trans. with English / J. Urik Robert.ю— L: Shipbuilding, 1978.-48 p.
2. 2.. Porter M. B. The BELLHOP manual and user's guide / M. B. Porter. -Preliminary draft, January 31, 2011. - 57 p.
3. Rodriguez Orlando Camargo. The TRACEO ray tracing program[Text]: / Orlando Camargo Rodriguez -Preliminary draft, January 31 2011. - 69 p.
4. Stashkevich AP Acoustics of the sea [Text]: / А.П. Stashkevich. - L .: Sudostroenie, 1966. - 354 s.
5. Brekhovskikh LM Waves in layered media. [Text]: / L.M. Brekhovskikh 2nd ed. - Москва: Изд-во «Наука», 1973. - 343 с.
6. Dubovik V.P. Higher mathematics: textbook. way. for students. higher textbook order / V.P. Dubovik, I.I. Yurik. - 4 types.- K.: Ігнатекс-Україна., 2013. - 648 с.