

УДК 621.317

СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ТРУБОПРОВОДІВ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Порєв В.А., Мухлінін С.М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», м. Київ, Україна

В статті узагальнені результати дослідження методів та засобів контролю якості ізоляційного покриття трубопроводів, що знаходяться у вологих ґрунтах та під водою, за допомогою двочастотної портативної апаратури для надтрасової діагностики трубопроводів

Ключові слова: *спектральний аналіз; апроксимація*

Вступ. Постановка проблеми

При експлуатації трубопроводів, що знаходяться у вологих ґрунтах або під водою, найчастіше зустрічаються дефекти, які викликані корозійними процесами. Одним з найефективніших способів попередження відмов обладнання, забезпечення працездатності його елементів в процесі експлуатації є контроль технічного стану підземних комунікацій методами та засобами неруйнівного контролю.

Існує декілька методів визначення місця пошкодження ізоляційного покриття: серед них метод виміру електричних потенціалів та індукційний метод. Перший метод малоприматний для дослідження трубопроводів у вологих ґрунтах та зовсім непридатний для визначення стану підземних комунікацій у водному середовищі, особливо при дослідженні трубопроводів, які знаходяться на великій глибині, оскільки вода являє собою суцільний провідник з нескінченно малим опором. Основою другого методу є визначення величини струму вздовж трубопроводу за рахунок виміру індуктивного поля на поверхні землі над трубопроводом [1]. Але цей метод має декілька вад, які обмежують його застосування при визначенні якості ізоляції підводних комунікацій.

У відомих дослідженнях [2, 3] розглядаються повні електричні моделі трубопроводу з урахуванням ємнісних та індуктивних складових розподілених параметрів, але визначення всіх необхідних коефіцієнтів, які залежать від конкретних електрофізичних параметрів середовища, у якому знаходиться трубопровід, з належною точністю та врахуванням їх зміни вздовж трубопроводу являє собою складну практичну задачу при проведенні вимірів. Як відомо із практичних досліджень, у вологих ґрунтах та водних середовищах, вплив розподіленої ємності значно перевищує вплив індуктивності ґрунту. В найпростішій моделі [1] розглянуті лише активні складові, а реактивні не враховані. Ця модель придатна для визначення пошкоджень трубопроводу, що знаходиться в сухому ґрунті на низьких частотах. Крім того, у роботах [2, 3] припускається, що всі виміри виконуються на частотах 30...100Гц. За результатами практичних досліджень на таких частотах виявлені значні електромагнітні вади, пов'язані із впливом промислової частоти 50Гц. Наведена ЕРС у антенах приймача на порядок менша, ніж із використанням частот 1...10кГц. Тому необхідно розглядати спрощену електричну модель трубопроводу, яка дозволяє на практиці визначати необхідні параметри для проведення вимірювань у діапазоні вищезазначених частот [4].

Наразі суттєвим чинником, що обмежує застосування існуючих пристроїв контролю, є наявність електромагнітних завад з промисловими частотами в зоні проведення контролю, які збільшують зону невизначеності показань пристроїв.

Відома апаратура, в тому числі і закордонна, що використовує індуктивний метод виміру сигналу не дозволяє враховувати усі наведені поправки, які суттєво впливають на якість результатів вимірів.

У зв'язку з вищенаведеним задачею дослідження є визначення оптимальної конфігурації технічних і програмно-математичних засобів для діагностики якості ізоляційного покриття трубопроводу, що знаходиться у вологих ґрунтах та у водному середовищі.

Метою дослідження є створення та апробація двочастотної портативної апаратури для надтрасової діагностики трубопроводів, яка дозволяє визначати стан ізоляційного покриття трубопроводів, що знаходяться під водою або у вологих ґрунтах з виключенням впливу зовнішніх факторів на точність результатів вимірів.

Виклад основного матеріалу дослідження

В основу розробки апаратури для діагностики стану ізоляції підводних комунікацій покладена методика визначення якості його ізоляційного покриття неруйнівним методом. Доведено, що показником якості стану ізоляції може служити питоме затухання струму в трубі, віднесене до значення довжини ділянки, в крайніх точках якої здійснюється вимір [4, 5, 6].

Досвід обстеження якості ізоляційних покриттів підводних переходів магістрального аміакопроводу Тольятті-Одеса, розподільних мереж Житомиргазу, Харківгазу, Київгазу, нафтогазових мереж Ахтирського НГДУ, показав, що в процесі пошуку дефектів ізоляції трубопроводів виникають певні проблеми, оскільки комунікації знаходяться у водному середовищі або в ґрунті з великою вологістю [5]. В таких випадках на результати вимірів суттєво впливають розподілені електричні параметри. Найбільший вплив має електрична ємність між металічною трубою і середовищем, в якому знаходиться трубопровід. Величина цієї ємності залежить від діаметра трубопроводу, товщини ізоляційного покриття і матеріалу ізоляції, який визначається його діелектричною проникністю ϵ .

При створенні приладу велику увагу було приділено універсальності апаратного забезпечення [7]. Максимальна кількість функцій обробки даних була перекладена на програмне забезпечення. Структурна схема розробленої апаратури наведена у раніш опублікованій роботі автора [7, 8]. Виходячи з вимог до апаратно-програмного комплексу для забезпечення максимальної завадостійкості та зручності використання апаратури, приймальна частина апаратури повинна базуватися на мікропроцесорі, що виконує цифрову обробку сигналу, збирає та накопичує дані про параметри, які вимірюються, а також має зручний інтерфейс користувача. Для зменшення часу обробки даних, підвищення точності визначення місцезнаходження дефектів ізоляції у водному середовищі до складу апаратного комплексу пропонується включити кишеньковий комп'ютер в якості спеціалізованого обчислювача.

Сам прилад складається з антенної системи, попереднього підсилювача, комутатора, підсилювачів із змінними коефіцієнтами підсилення, аналого-цифрового перетворювача, формувача інтерфейсу USB, генератора тактової частоти, дешифратора, фільтра, головних телефонів та комп'ютера, який входить до комплексу приладу [8]. Двочастотний генератор змінного струму електрично з'єднується з трубопроводом. Трубопровід виступає в ролі передаючої антени.

Для забезпечення правильної роботи апаратного комплексу необхідно здійснити спектральний аналіз сигналу і визначити протягом періоду вимірювання залежність амплітуди сигналу від часу вимірювання. З метою отримання найбільшої точності пропонується використовувати, якнайменше, 8 відліків на один період несучої частоти. Використання занадто великої частоти дискретизації збільшує об'єми обчислень, але не збільшує точності вимірювання, і навіть може внести додаткову похибку. Оптимальним є 16-ти бітний АЦП, що має частоту дискретизації, кратну усім значущим складовим сигналам генератора, і має 8-32 відліки на один період сигналу несучої частоти. Для частоти сигналу генератора у 3296Гц частота дискретизації має лежати у межах 26-104 кГц, а ширина цифрового коду має бути 16 біт, що складатиме 421 кБіт/с – 1,6 Мбіт/с.

Вибір інтерфейсу для передачі даних повністю залежить від визначеної швидкості потоку передачі даних. Оптимальним вибором є інтерфейс USB1.1, оскільки він не потребує додаткової буферної пам'яті і дозволяє передати усі дані вимірювання в режимі реального часу. Для використання інтерфейсу USB1.1 пропонується використовувати комп'ютер із вбудованим USB-хостом.

Алгоритм основного циклу прикладної програми, що розроблена для портативного комп'ютера апаратного комплексу, складається із двох циклів: циклу вимірювання та циклу режиму пошуку. Згідно вихідних умов, до цих циклів пред'явлені різні вимоги щодо величини реального часу:

1. Цикл пошуку повинен бути коротшим за 250 мс. Цикл включає команду перевірки натиснення кнопки, команду зчитування даних, команду поверхневої обробки даних та виведення результату на екран. Пропонується виконувати первинну обробку даних з невисокою точністю, але швидко. Оскільки дані, що отримуються, не відносяться до вимірів, а лише спрямовують оператора на правильне встановлення антени приймача, тому допускається похибка у 5%.

2. Цикл вимірювання має бути коротшим за 90 с. В даному циклі знаходяться команди отримання повної вибірки даних, обробки сигналу та виведення результату. Дані, отримані у цьому циклі, повинні бути максимально точними, оскільки вони використовуються для обчислення показників, що вимірюються. Граф циклу пошуку зображений на рис. 1.

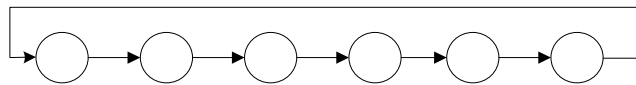


Рис. 1. Граф циклу пошуку

Процедура перевірки натиснення вимагає посилання спеціальної команди до пристрою та отримання результату. Основна частина часу витрачається на формування та пересилання пакетів через шину USB і потребує дві транзакції, які не залежать від швидкодії мікропроцесору і складають не більше 500 мкс на од-

ну транзакцію. Фаза зчитування даних потребує посилення однієї команди (однієї транзакції) та отримання даних. Рекомендований обсяг даних при частоті дискретизації 104кГц та частоті сигнал-генератора 3,3кГц – 4кБ, якого достатньо для поверхневого аналізу та правильного орієнтування антени приймача. Довжина фази не залежить від продуктивності мікропроцесору. Згідно специфікації USB1.1, швидкість передачі даних дорівнює 1,5Мбайт/с. Таким чином, час, що витрачається на передачу даних складає:

$$t_T = 2 \cdot t_i + \frac{N}{v}, \quad (1)$$

де t_T - час передачі даних, c , t_i - час на виконання однієї транзакції (фази ініціалізації та фіналізації), згідно специфікації USB1.1 $t_i \leq 500 \times 10^{-6} c$, N - кількість даних, що передаються, байт, v - швидкість передачі даних (2), байт/с.

$$v = \min(1.5 \times 2^{20}, n \cdot f_q), \quad (2)$$

де n - кількість байт на один відлік, f_q - частота дискретизації.

Отже, при частоті дискретизації 104 кГц та кількості даних у 4096 байт, час на один запит складає:

$$\begin{aligned} t_T &= 2 \cdot t_i + \frac{N}{\min(1.5 \times 2^{20}, n \cdot f_q)} = \\ &= 2 \cdot 500 \times 10^{-6} + \frac{4096}{\min(1.5 \times 2^{20}, 2 \cdot 104 \times 10^3)} = 20,7 \times 10^{-3} \end{aligned} \quad (3)$$

Операція поверхневої обробки сигналу передбачає обчислення амплітуди вхідного сигналу – пошук мінімуму та максимуму у масиві, що потребує кількості операцій з цілими числами, яка дорівнює $n_{обр.к} = 2 \cdot N$

Оптимальним алгоритмом для визначення коефіцієнту підсилення є спосіб дихотомії – ділення навпіл. Він полягає у наступному: якщо коефіцієнт підсилення, що використовувався при попередньому вимірюванні не задовольняє критерію оптимальності (вимірюваний сигнал має знаходитися в межах $0.4 \cdot U_{\max} \dots 0.95 \cdot U_{\max}$), то виконується повторне визначення оптимального коефіцієнта підсилення за графом, зображеним на рис. 2.

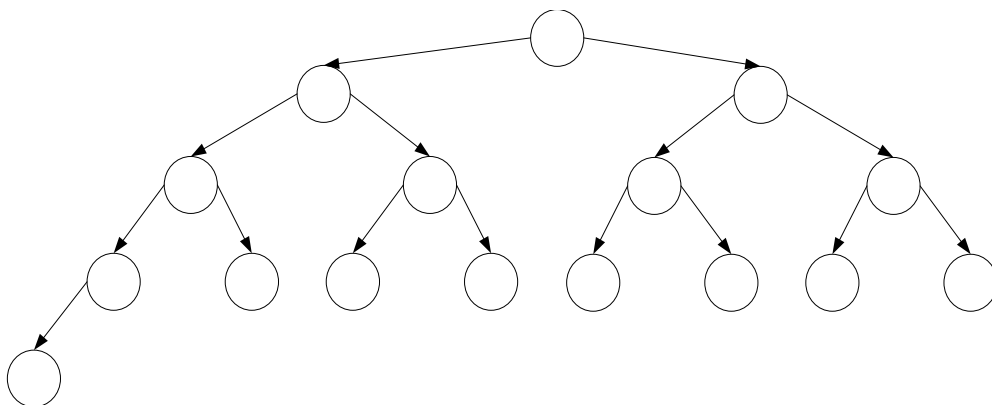


Рис. 2. Граф вибору оптимального коефіцієнта підсилення при $k = 4$

Кількість кроків, яка необхідна для визначення коефіцієнта підсилення залежить від кількості біт, що відведена на керування коефіцієнтом підсилення (k). Алгоритм використовує двійковий пошук і максимум за k кроків визначає

оптимальний коефіцієнт підсилення. Середня кількість кроків, потрібна для визначення оптимального коефіцієнта підсилення складає $\frac{k}{2}$.

Після отримання даних, вони потребують обробки – пошуку мінімуму та максимуму, який визначається кількістю операцій з цілими числами, наведеними у формулі (4).

$$n_{обр.К} = 2 \cdot N \quad (4)$$

Отже, максимальні витрати часу на визначення коефіцієнту підсилення будуть визначатися:

$$t_K = k \cdot t_T + \frac{2 \cdot N}{f_{clk}}, \quad (5)$$

де t_T - час одного зчитування даних, k - розрядність шини керованого підсилювача, f_{clk} - частота процесора (операцій з цілими числами на секунду).

При $k = 4$, $f_{clk} = 133 \times 10^6$, витрати часу складатимуть:

$$t_K = 4 \cdot 20,7 \times 10^{-3} + \frac{2 \cdot 4096}{133 \times 10^6} = 83 \times 10^{-3}, \quad (6)$$

Операція виведення результату включає підготовку буфера екрану, який містить графічні результати вимірювання. Час (t_{scr}), що витрачається на цю операцію незначний у порівнянні з часом отримання результату і визначається швидкодією процесору та оперативною пам'яттю комп'ютера.

Найбільш довгим перериванням є оновлення екрану, що виконується один раз на один цикл. Час (t_{int}), який витрачається на цю операцію визначається архітектурою операційної системи комп'ютера.

Отже, повний час циклу визначається як:

$$T_n = 2 \cdot t_i + t_T + t_K + t_{scr} + t_{int} \quad (7)$$

Як видно з наведених обчислень, основну частину часу займає операція отримання даних, що виконується максимум $k+1$ рази. Таким чином, мінімізувати необхідно обсяг даних, що передаються під час цієї фази.

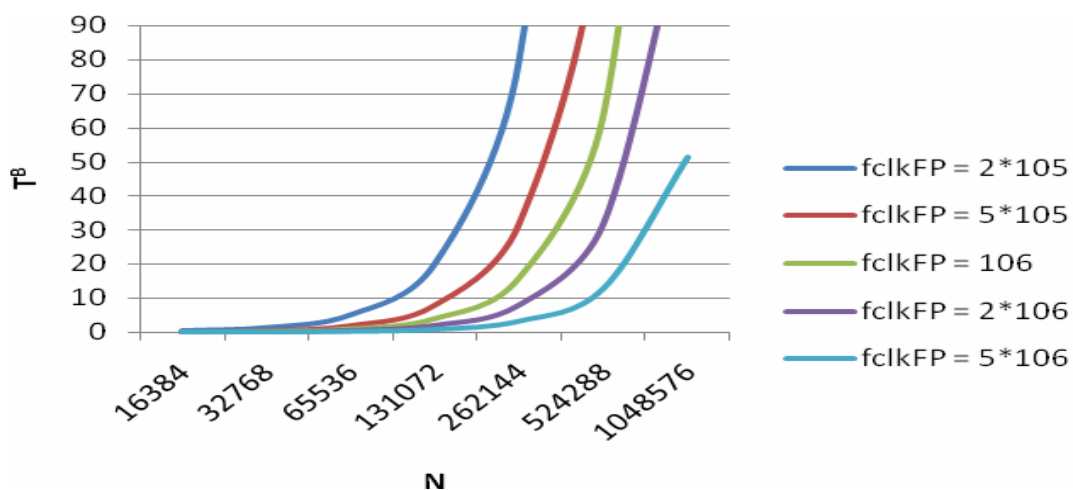


Рис.3. Залежність часу цифрової обробки сигналу від продуктивності процесору та кількості даних, що обробляються

Рис.3 свідчить про те, що основну частину часу роботи процесора (99,8%) займає операція цифрової обробки сигналу.

Враховуючи час отримання даних, наведемо номограму визначення оптимальної вибірки даних при заданій продуктивності процесору з урахуванням вимог реального часу – при довжині циклу $T_B \leq 90c$ (рис. 4).

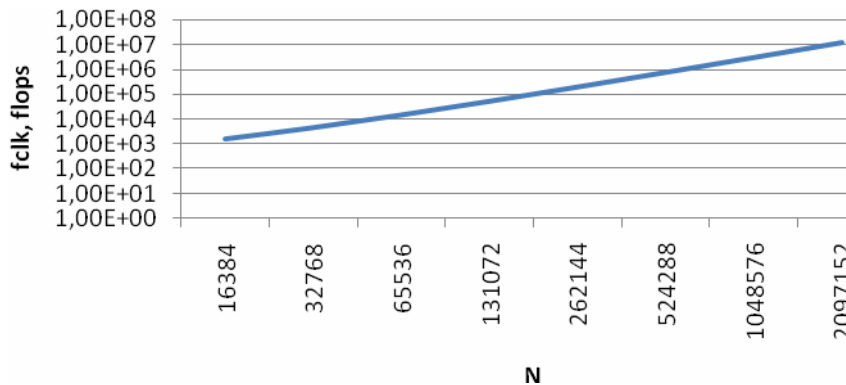


Рис. 4. Номограма визначення оптимальної вибірки даних при заданій продуктивності процесору з урахуванням вимог реального часу

До основних якісних характеристик розроблюваного комплексу слід віднести такі: характеристики точності вимірювання (динамічна похибка вимірювання – розходження показань приладу в одній точці, статична похибка вимірювання); часові характеристики (час одного вимірювання, час обчислення результуючої характеристики після виконання вимірювання величини згасання струму в трубопроводі). Практична корисність будь-якого вимірювання визначається розміром його похибки. Мінімізацію випадкової похибки пропонується здійснювати шляхом:

1. Експериментального визначення усіх коефіцієнтів підсилення та введення поправки на їх відхилення від запланованого значення під час вимірювання.
2. Апроксимації величини сигналу з антени, яка під час вимірювання усуває похибку, внесену відносною зміною положення антени під час вимірювання.
3. Мінімізації впливу завад на результати вимірювання за допомогою цифрової фільтрації в амплітудно-частотній площині.

При розробці приладу для частоти дискретизації 104кГц було прийнято рішення використовувати вікно розміром 4096 точок при загальній кількості 524 тис. точок.

Обґрунтування отриманих наукових результатів

Достовірність запропонованого методу визначення якості ізоляційного покриття на підводних переходах була підтверджена при обстеженні газопроводу діаметром 426мм через р.Сіверський Донець в районі м.Балаклія до ремонту і після ремонту гідроізоляції за допомогою клейової композиції «СПРУТ». Протяжність відремонтованої ділянки складає 186м. Виміри проводились на частоті 3,296 кГц з урахуванням усіх поправок. До ремонту було зареєстроване питоме згасання струму

$$18,6 \times 10^{-2} \frac{\Delta \delta}{\kappa},$$

що вказувало на дуже поганий стан ізоляційного покриття. Після ремонту питоме згасання склало $0,54 \times 10^{-2} \frac{\Delta \delta}{\kappa}$, що відповідає якісному покриттю. З урахуванням вищенаведених матеріалів можна дійти висновку, що результати ек-

периментальних досліджень підтверджують адекватність обраної моделі.

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що розроблена апаратура з високим ступенем точності визначає місцезнаходження трубопроводів у водному середовищі, здійснює оцінку якості їх ізоляційних покриттів та вимірює глибину залягання цих комунікацій.

Висновки

В результаті створення апаратури був апробований метод визначення технічного стану ізоляційних покриттів трубопроводів, що знаходяться у вологих ґрунтах та у водному середовищі, за допомогою приладу, що базується на портативному комп'ютері типу PocketPC. Пристрій та кишеньковий комп'ютер обмінюються даними через інтерфейс USB.

Принцип роботи розробленого приладу базується на вимірюванні електропрушійної сили струму, який протікає по трубопроводу. Струм подається у трубопровід від генератора низької частоти. Портативний комп'ютер, який входить до складу апаратури, дозволяє здійснювати обробку вимірюваних сигналів і видавати результати обробки на монітор в зручному для оператора вигляді. Застосований при обробці сигналу метод швидкого перетворення Фур'є разом із методами вузькополосної математичної фільтрації сигналів значно підвищують точність отриманих результатів.

Для роботи апаратури в автоматичному режимі розроблено програмне забезпечення в системі програмування Microsoft Visual Studio 2008.

В перспективі подальші дослідження повинні виконуватись у таких напрямках:

- здійснення аналізу впливу електромагнітних вад несучої частоти великої інтенсивності, що наводяться на антени приймача;
- підвищення точності визначення місць знаходження дефектів у водному середовищі в умовах, коли обидві приймальні антени знаходяться під водою;
- розробка методики обстеження якості ізоляційних покриттів на паралельних трубопроводах, що проходять поруч або поблизу відгалужень;
- впровадження експериментального зразку апаратури у серійне виробництво.

Література

1. Буримский В. К., Гирнык В. А. Обследование трубопроводов Ахтырского НГДУ // Техн. диагностика и неразрушающий контроль, 2000. - №4. - С.72-78.
2. Джала Р.М. Электромагнитні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посіб. / Під заг. назвою ред. В.В. Панасюк. – Т.5 / Під ред. З.Т. Назарчука. – Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2001. – Розділ 5. – С. 263-330.
3. Дикмарова Л.П., Корниенко В.Ю. Сопротивление изоляционного покрытия подземного трубопровода // Нефт. пром-ть. Н.-т. достиж. и перед. опыт. рекоменд. для внедр. / Инф.сб. – М.: ВНИИОЗНГ, 1991. – Вып.12. – С.51-56.
4. Ткаленко М.А., Юхимець П.С., Мухлінін С.М. та ін. Методика та апаратура двочастотних вимірів для перевірки якості ізоляційного покриття трубопроводу у вологих ґрунтах та на підводних переходах // Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2008. – №1. – С.19-23.
5. Мухлінін С.М. Визначення технічного стану ізоляційного покриття з використанням двочастотної методики обстеження // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. - 2008. – Вип. 35. – С.61-68.
6. Патент №35102 України на корисну модель. Спосіб визначення якості ізоляційного покриття трубопроводу / Мухлінін С.М. Опубл. 26.08.2008.
7. Патент №36578 України на корисну модель. Мухлінін С.М. Пристрій для визначення якості по-

криття трубопроводу. Опубл. 27.10.2008.

8. Мухлинін С.М. Розроблення апаратури із вбудованим кишеньковим комп'ютером для безконтактного контролю технічного стану ізоляційного покриття трубопроводів // Методи та прилади контролю якості. - 2008. – Вип. 21. - С.24-29.

<p>Порев В.А., Мухлинін С.М. Современная технология бесконтактного обследования трубопроводов в водной среде В статье обобщены результаты исследования методов и средств контроля качества изоляционного покрытия трубопроводов, находящихся во влажных грунтах и под водой, с помощью двухчастотной портативной аппаратуры для надтрассовой диагностики трубопроводов. Ключевые слова: спектральный анализ; аппроксимация</p>	<p>Porev V., Mukhlynin S. Modern technology of noncontact inspection of pipelines in a water environment There are the generalized results of research of methods and controls quality of isolating coverage of pipelines, being in moist soils and under water in the article, by a twofrequency portable apparatus for diagnostics above a route of pipelines. Keywords: spectral analysis, approximation</p>
--	---

Надійшла до редакції
11 березня 2010 року

НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 629.7.054

МЕМБРАНА В АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Панченко Р.Н., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Проводится качественная оценка динамики мембраны на границе двух полупространств акустической среды. Анализируются особенности изгибного движения под действием плоской волны.

Ключевые слова: мембрана, акустическая среда.

Введение

Звуковое поле реактивной струи летательных аппаратов в режиме эксплуатационного использования обладает ярко выраженной характеристикой направленности. Линия максимальной интенсивности располагается приблизительно под углом $\frac{\pi}{6}$ рад к оси струи. Наибольшей величины акустические нагрузки от шума реактивной струи достигают на Земле и во время старта. С увеличением скорости и высоты полета их влияние уменьшается, но при этом возрастают нагрузки, обусловленные пульсацией давления в турбулентном пограничном слое фюзеляжа. Уровни шума пограничного слоя могут достигать 160-180 децибел [1]. Спектр его сплошной, с широким диапазоном – до 50000 Гц [2]. В зависимости от физико-механических свойств мембраны, а также механизма взаимодействия ее с прошедшим под Головной Аэродинамической Обтекатель акустическим излучением, возможны различные проявления в последней волновых процессов – от звуковой вибрации до состояния акустической прозрачности при наступлении волнового совпадения.