

148.

2. Sanders L. Instrument Landing System / L. Sanders, V. Fritch, Ir. John // IEEE Trans. on Com. – 1973. – Vol. 21. – № 5. – P. 435–454.
3. Сосновский А.А. Радиоэлектронное оборудование летательных аппаратов: справочник / А.А. Сосновский, И.А. Хаймович. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
4. Сантиметровые системы посадки самолетов / [В.М. Бенин, Е.И. Шолупов, В.А. Кожевников, И. А. Хаймович]. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
5. Оптимальна фільтрація різноточних кутових вимірювань в системі посадки сантиметрового діапазону / В.М. Кичак, Ю.М. Воловик, А.Ю. Воловик, М.А. Шутило // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011.– № 3.– Т. 1.– С. 154–161.
6. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации / Ярлыков М.С. – М.: Радио и связь, 1985. – 344 с.
7. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс.; пер. с англ.; под ред. Б.Р. Левина. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
8. Зингер Р.А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью / Р.А. Зингер // Зарубежная радиоэлектроника. 1971. – № 8. – С. 5 – 28.
9. Корнильев Э.А. Устойчивые алгоритмы в автоматизированных системах обработки информации / Корнильев Э.А., Прокопенко И.Г., Чуприн В.М. – К.: Техніка, 1989. – 224 с.

Надійшла 19.5.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Осадчук О.В.

УДК 621.396

С.П. КОНОНОВ, Р.В. ДАНИЛЬЧУК

Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОСМУГОВОГО АКТИВНОГО КРОСОВЕРА

В роботі розглянуто призначення звукових кросоверів, наведено класифікацію та способи їх реалізації. Детально проаналізовано двосмуговий активний кросовер з фільтром нижніх частот Лінквіца-Райлі та фазовою ланкою. Проведено його математичне та комп'ютерне моделювання. Зроблено аналіз отриманих результатів.

In this work the assignment of audio-crossovers is considered, classification and methods of their realization are brought. In detail a two band active crossover, which has Linkwitz – Riley low-pass filter and phase link, is analyzed. The mathematical and computer modeling of this device has been fulfilled. The analysis of the obtained results has been made.

Ключові слова: активний кросовер, частота поділу, фільтр, блок затримки, суматор, фазовий зсув.

Вступ і постановка задачі

Кросовер – важлива частина системи високоякісного звуковідтворення. Він призначений для розділення звукового сигналу на сигнали певних частотних смуг з подальшим їх відтворенням смуговими гучномовцями. Завдяки кросоверу гучномовці утворюють сумарне поле з меншими спотвореннями звуку.

Кросовери діляться на пасивні і активні [1]. Пасивні кросовери встановлюються на виході потужних звукових підсилювачів, частіше входять до складу гучномовців і не містять активних елементів. Активні кросовери розміщують до потужного підсилювача, де звуковий сигнал має менший рівень. Відповідно такі кросовери складаються з активних елементів – операційних підсилювачів або транзисторів і потребують джерела живлення. Основними вузлами кросоверів є фільтри низьких частот (ФНЧ), верхніх частот (ФВЧ) та смугові (СФ).

Найбільш часто використовуються дво- і трисмугові кросовери з однією або з двома частотами поділу. Частоти поділу не варто обирати в області найбільшої чутливості вуха людини [2], тобто в діапазоні (1 – 3) кГц, так як при цьому виникає роздвоєння джерела звуку між головками гучномовця. Тому частотами поділу можуть бути ті, що знаходяться в межах (400 – 800) Гц або (4 – 5) кГц.

Активний кросовер будується за двома основними способами.

Згідно першому вхідний сигнал розгалужується в канали смугової обробки, в яких знаходяться фільтри Баттерворта, Бесселя або Саллена-Кі. Їх схеми відповідають ФНЧ і ФВЧ для двосмугового кросовера з однією частотою поділу та ФНЧ, СФ, ФВЧ у випадку трисмугового кросовера з двома частотами поділу.

Поблизу частоти поділу виникає зона сумісної дії двох смугових гучномовців. В кросоверах за першим способом в зоні сумісної дії зсув фаз вихідних сигналів каналів смугової обробки змінюється за частотою. Крім того, при невдалій реалізації в фільтрах заданої частоти поділу зростає нерівномірність сумарного акустичного поля. Ці явища призводять до зростання фазових і амплітудних спотворень звуку, погіршення якості його відтворення.

Значно меншими в зоні сумісної дії гучномовців є спотворення вихідних сигналів в кросовері, у якому частота поділу визначається тільки параметрами ФНЧ, а смуга верхніх частот формується за допомогою додавання напруг від ФНЧ та блока затримки у вигляді фазової ланки. Спотворення можна ще зменшити, якщо застосувати ФНЧ Лінквіца-Райлі. Його особливість, на відміну від фільтра Баттерворта,

полягає в тому, що частота поділу визначається за рівнем -6 дБ замість традиційних -3 дБ.

Метою статті є дослідження двосмугового активного кросовера з ФНЧ Лінквіца-Райлі та фазовою ланкою: проведення математичного і комп'ютерного моделювання його вузлів та пристрою в цілому, наведення методики розрахунку його елементів.

Результати роботи

Низькочастотний канал смугової обробки кросовера (рис. 1) складається з двокаскадного ФНЧ четвертого порядку з комплексним коефіцієнтом передачі

$$K_{НЧ}(j\omega) = \frac{U_{НЧ}(j\omega)}{U_{ВХ}(j\omega)} = K_{ФНЧ}^2(j\omega).$$

Високочастотний канал кросовера утворено блоком затримки і інвертувальним двохходовим суматором \sum_1 з комплексним коефіцієнтом передачі

$$K_{ВЧ}(j\omega) = \frac{U_{ВЧ}(j\omega)}{U_{ВХ}(j\omega)} = \frac{-U_{НЧ}(j\omega) - U_{БЗ}(j\omega)}{U_{ВХ}(j\omega)} = -K_{НЧ}(j\omega) - K_{БЗ}(j\omega).$$

Інвертувальний суматор \sum_2 до вхідної напруги додає з множником 2 вихідну напругу СФ другого порядку. Комплексний коефіцієнт передачі блока затримки

$$K_{БЗ}(j\omega) = \frac{U_{БЗ}(j\omega)}{U_{ВХ}(j\omega)} = -2K_{СФ}(j\omega) - 1.$$

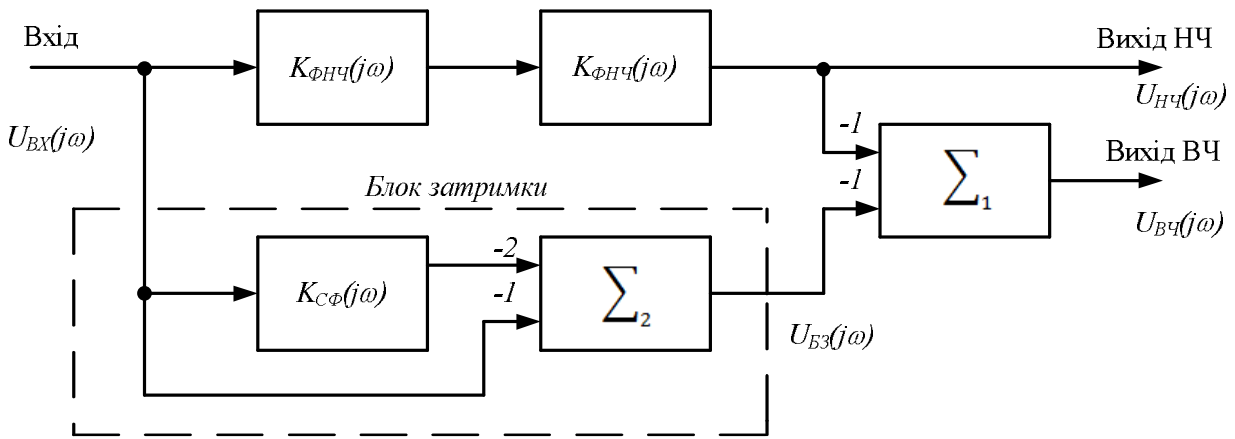


Рис. 1. Двосмуговий активний кросовер

Остаточно для високочастотного каскаду маємо:

$$K_{ВЧ}(j\omega) = -K_{ФНЧ}^2(j\omega) + 2K_{СФ}(j\omega) + 1.$$

Каскад ФНЧ будується за схемою (рис. 2) і являє собою низькодобротний фільтр з частотою поділу, яка визначається за рівнем АЧХ -3 дБ другого порядку [3].

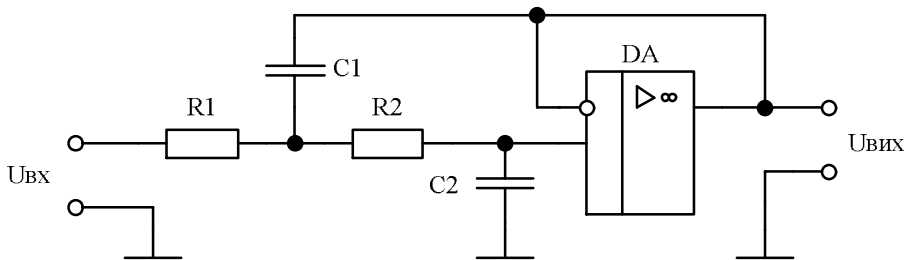


Рис. 2. ФНЧ активного кросовера

Його розрахунок проводиться за такими формулами:

$$R_1 = R_2 = R, C_2 = \frac{1}{\sqrt{2}w_0R} = C, C_1 = 2C, w_0 = 2\pi f_0,$$

де f_0 – частота поділу кросовера. В цьому випадку комплексний коефіцієнт передачі знаходиться за виразом [3]:

$$K_{ФНЧ}(j\omega) = \frac{w_0^2}{-w^2 + jw\sqrt{2}w_0 + w_0^2}.$$

Два послідовно увімкнених каскади ФНЧ послаблюють на частоті f_0 сигнал в два рази, тобто на -6дБ.

Схема СФ наведена на рис. 3. Це низькодобротний фільтр другого порядку з багатопетльовим зворотнім зв'язком. Розрахунок радіоелементів такий:

$$C_1 = C_2 = C, R_1 = \frac{1}{\sqrt{2}w_0 C} = R, R_2 = 2R,$$

Комплексний коефіцієнт передачі СФ [3]:

$$K_{C\Phi}(jw) = -\frac{jw\sqrt{2}w_0}{-w_0^2 + jw2\sqrt{2}w_0 + w_0^2}.$$

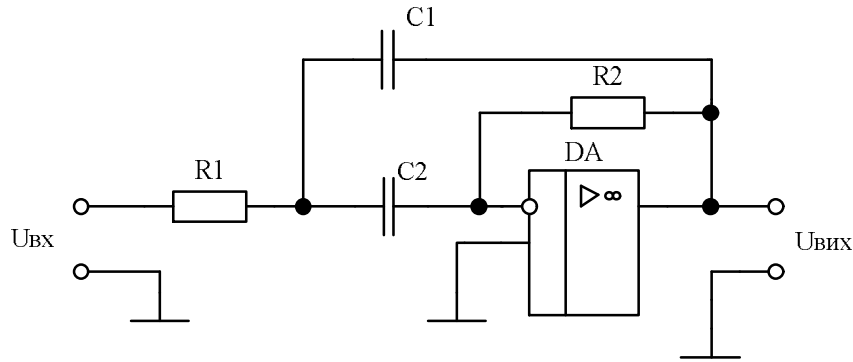


Рис. 3. СФ активного кросовера

АЧХ і ФЧХ СФ описується виразами

$$K_{C\Phi}(w) = -\frac{\sqrt{2}ww_0}{\sqrt{w^4 + w_0^4}},$$

$$j_{C\Phi}(w) = -\arctg\left(\frac{w^2 - w_0^2}{\sqrt{2}ww_0}\right) - p.$$

Їх залежності для частоти поділу 4 кГц наведені на рис. 4.

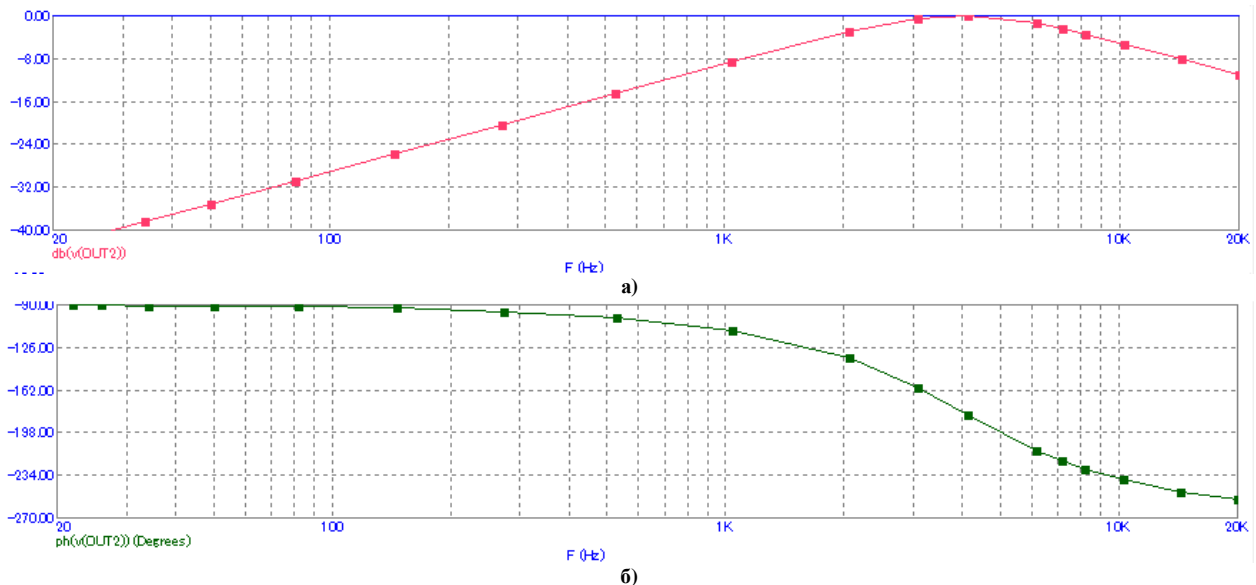


Рис. 4. АЧХ (а) та ФЧХ (б) СФ активного кросовера

Блок затримки активного кросовера будується на основі СФ (рис. 5). Опори резисторів обираються такими:

$$R_1 = R, R_2 = R_3 = 2R.$$

Комплексний коефіцієнт передачі блока затримки знаходиться за відомим коефіцієнтом $K_{C\Phi}(jw)$:

$$K_{БЗ}(jw) = -2K_{C\Phi}(jw) - 1 = \frac{jw2\sqrt{2}w_0}{-w^2 + jw2\sqrt{2}w_0 + w_0^2} - 1.$$

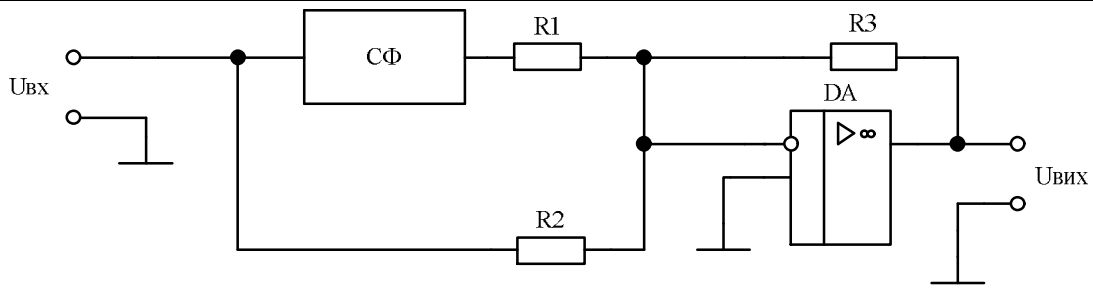


Рис. 5. Блок затримки активного кросовера

АЧХ блока затримки частотонезалежна

$$K_{БЗ}(w) = 1,$$

а ФЧХ описується виразом

$$j_{БЗ}(w) = p - \text{arctg} \left(\frac{2\sqrt{2}ww_0(w^2 - w_0^2)}{4w^2w_0^2 - w^4 - w_0^4} \right)$$

ФЧХ блока затримки двохсмугового кросовера з частотою поділу 4кГц наведена на рис. 6.

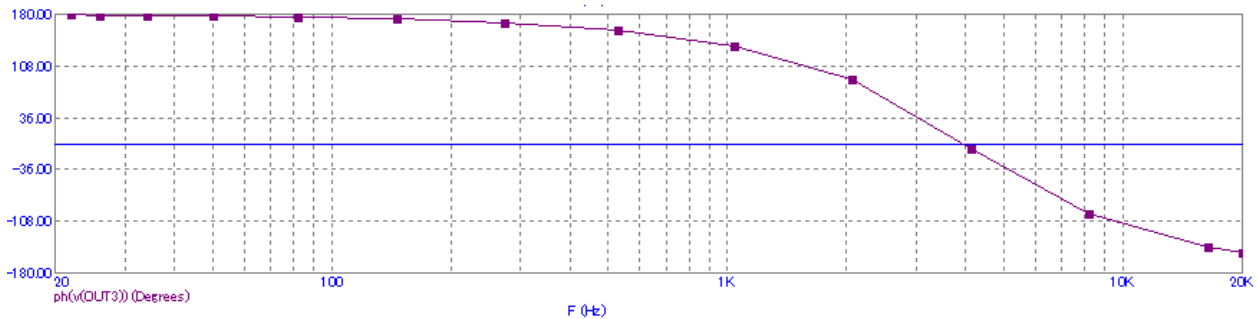


Рис. 6. ФЧХ блока затримки кросовера

Низькочастотний канал смугової обробки кросовера має АЧХ

$$K_{НЧ}(w) = |K_{ФНЧ}^2(jw)| = \frac{w_0^4}{w^4 + w_0^4},$$

і ФЧХ

$$j_{НЧ}(w) = -\text{arctg} \left(\frac{2\sqrt{2}ww_0(w^2 - w_0^2)}{4w^2w_0^2 - w^4 - w_0^4} \right) \quad (1)$$

Відповідні характеристики для частоти поділу 4кГц зображені на рис. 7.

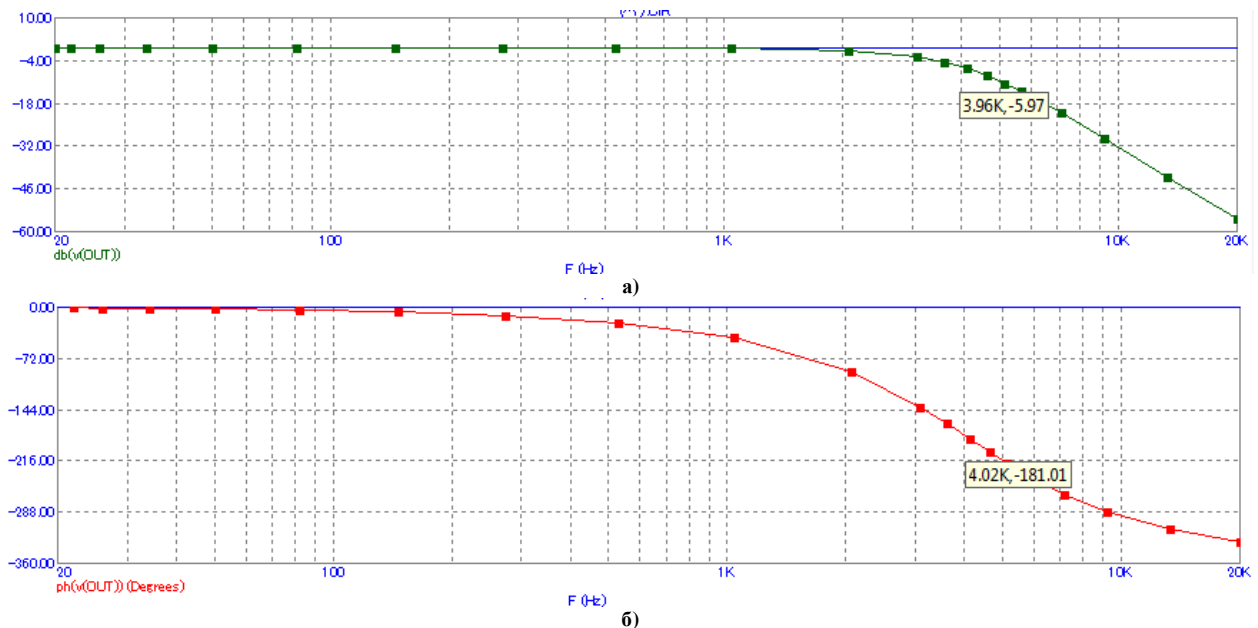


Рис. 7. АЧХ (а) і ФЧХ (б) НЧ каналу смугової обробки

За високочастотним виходом активного кросовера отримуємо АЧХ (рис. 8).

$$K_{BЧ}(w) = \frac{w^4}{(w^2 - \sqrt{2}ww_0 + w_0^2)(w^2 + \sqrt{2}ww_0 + w_0^2)},$$

а вираз для ФЧХ співпадає з (1).

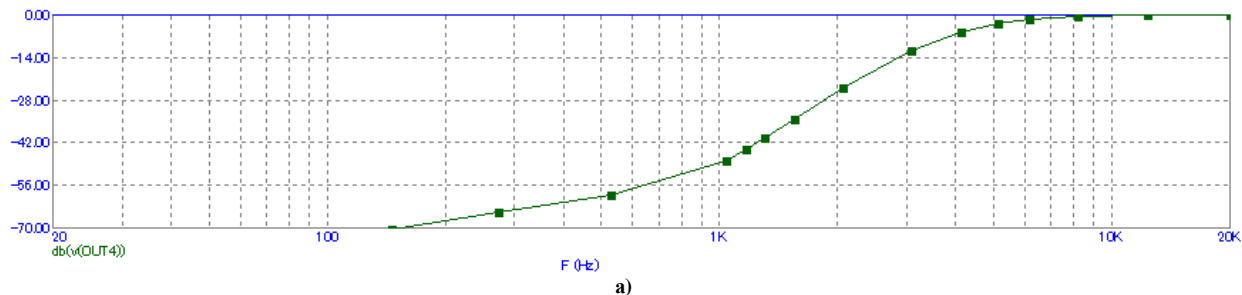


Рис. 8. АЧХ ВЧ-каналу обробки для частоти поділу 4кГц

Простим тестом перевірки кросовера є додавання сигналів з його виходів:

$$K(jw) = K_{HЧ}(jw) + K_{BЧ}(jw).$$

Модуль $K(jw)$ є частотонезалежний $K(w)=1$, вираз для аргументу $j(w)$ такий же, як (1). Це свідчить про відсутність амплітудних і фазових спотворень в зоні сумісної дії головок гучномовців навколо частоти поділу.

Висновки

В статті отримані формули для розрахунку АЧХ і ФЧХ вузлів та в цілому двосмугового активного кросовера на основі фільтра Лінквіца-Райлі з фазовою ланкою, наведено методику розрахунку його елементів. Проведений аналіз свідчить про те, що активний кросовер в зоні сумісної дії гучномовців, формує сумарний електричний сигнал без амплітудних і фазових спотворень. Тому в акустичному полі, яке створюють гучномовці при правильному їх налаштуванні, також будуть відсутні спотворення, які викликані їх одночасною роботою.

Література

1. Чернецкий М. Кроссоверы и контроллеры акустических систем // ж. Звукорежиссер [Електронний ресурс] / Чернецкий М. – 2002. – № 5. – Режим доступу до журн.: <http://www.audioproducer.625/net.ru>.
2. Алдошина И.А. Электроакустика и звуковое вещание / Алдошина И.А., Вологдин Э.И., Ефимов А.П.; под. ред. Ковалгина Ю.А. – М.: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007. – 892 с.
3. Мошиц Г. Проектирование активных фильтров / Г. Мошиц, П. Хорн. – М.: «Мир», 1984. – 318 с.

Надійшла: 11.05.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Злепко С.М.

УДК 681.3.07

Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, Т.М. КРИСАК, О.В. СОКОЛОВСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРУГЛИХ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ

У статті проведено аналіз методів вимірювань об'ємів круглих лісоматеріалів та запропоновано їх класифікацію.

In the article the analyses of measuring methods of round timber's volume was done and their classification was suggested.

Ключові слова: вимірювання об'ємів, круглий лісоматеріал, класифікація.

Вступ. Така галузь народного господарства, як деревообробна нині переживає бурхливий підйом. Питання точного обліку сировини і продукції, що виробляється, є одним з найважливіших в умовах ринкових стосунків і постійної боротьби за мінімізацію витрат виробництва.

Існує велика кількість різноманітних методів вимірювання об'єму лісоматеріалів. Усі вони відрізняються один від одного, як по фізичних принципах, закладених в їх основу, так і по способах обчислення об'єму [1].

Особливістю круглих лісоматеріалів є високий рівень похибок вимірювання об'єму, що призводить