

них пунктів, інженерні вишукування проводять як для передпроектної документації. При цьому здійснюють аналіз матеріалів інженерно-геологічних вишукувань минулих років і тільки в разі їх недостатності виконують інженерно-геологічну зйомку в масштабах 1:25000-1:10000. За результатами цих робіт складають характеристику геоморфологічних умов; геологічної будови; сейсмічності; гідрогеологічних умов; складу, стану, фізичних властивостей виділених типів ґрунтів і їх просторової мінливості; розвитку геологічних процесів та інших факторів, які впливають на формування землекористувань. Застосування методів інженерного захисту територій та об'єктів потрібно обґрунтувати спеціальними техніко-екологічними розрахунками з урахуванням містобудівних вимог, потрібних заходів щодо охорони навколишнього середовища, раціонального функціонального використання територій.

Література

1. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований / Г.С. Золотарев. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – № 5. – 384 с.
2. Коломенский Н.В. Инженерная геология / Н.В.Коломенский. – К. : Изд-во "Вища шк.", 1964. – 496 с.
3. Клошниченко С.С. Соціально-економічні основи планування та забудови міст / С.С. Клошниченко. – К. : Вид-во "НДІП містобудівання", 1999. – 87 с.
4. Держком. України у справах містобудування і архітектури, Наказ № 44, 1992.
5. Матеріали облдержадміністрації 2012 р., № 591

Надіслано до редакції 16.02.2016 р.

Ходан Н.Н., Зубик С.В. Методы инженерной защиты сложных ландшафтных территорий при застройке населенных пунктов

Освещены проблемы особенностей планирования и застройки населенных пунктов в сложных геологических условиях. Предложено применение инженерной защиты от опасных стихийных явлений. Определены и обоснованы опасные стихийные процессы ликвидации их последствий на территории населенных пунктов. Во многих городах и селах Прикарпатья произошли значительные изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства и эксплуатации зданий и сооружений, распространились опасные геологические процессы: увеличилась площадь просадок земной поверхности над отработанными шахтными полями, создались карстовые ямы, активизировались оползни и овраги, увеличилась площадь засоленных и подтопленных земель. С целью предотвращения разрушения зданий и сооружений нужно осуществлять инженерные меры относительно территорий и объектов, предотвращение, устранение или снижение до допустимого уровня негативного влияния действующих и потенциально возможных негативных геологических процессов.

Ключевые слова: геологические явления, гидрогеологические условия, геологические процессы, карстовые ямы, оползни, изыскания, мероприятия контрфорсы, антисейсмические пояса, ландшафт, территория.

Khodan M.M., Zubyk S.V. Some Methods of Engineering Protection of Complex Landscape Areas during Settlements Development

The paper highlights the problems and peculiarities of planning settlements development in difficult geological conditions suggesting the use of artificial protection from dangerous natural phenomena. The main purpose is to identify and study dangerous natural processes of elimination of their consequences for residential areas. In many Carpathian towns and villages significant changes in geological, engineering and hydrogeological conditions for the construction and operation of buildings and structures have occurred. Some dangerous geological processes intensified and spread. They are supposed to be the following: increased area of surface subsidence exhaust the earth's surface over mine fields; were created karst pits were

created; landslides and ravines appeared; the area of saline and waterlogged land increased. In order to prevent the destruction of building structures it is necessary to carry out engineering measures for facilities and territories, prevention, elimination or reduction to an acceptable level the negative impact of existing and the potential negative geological processes. The results obtained showed that the solution to this problem in the Carpathian is appropriate engineering measures to protect against natural disasters and geological processes.

Keywords: geological phenomena, hydrogeological conditions, geological processes, karst pits, landslides, surveys, events buttresses, anti-seismic zones, landscape area.

УДК 621.317.3

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗАТОРА ІМПЕДАНСУ ПРЯМОЇ ДІЇ

Ю.В. Хома¹, Р.М. Івах², І.Д. Питель³

Проаналізовано структуру та особливості вимірювального каналу засобів вимірювання імпедансу на базі активних вимірювальних перетворювачів. Для оцінювання точності вимірювального каналу частотного аналізатора імпедансу розроблено метрологічну модель вимірювального каналу, яка не тільки враховує основні джерела похибок та відображає структуру вимірювальних перетворень, але й наочно показує основні джерела похибок і місця їх локалізації і відображає при цьому їхній взаємозв'язок. На основі проведеного аналізу встановлено найістотніші джерела похибок та запропоновано методи зменшення їх впливу.

Ключові слова: імпеданс, вимірювання імпедансу, частотні аналізатори імпедансу, активні вимірювальні перетворювачі, метрологічна модель вимірювального каналу, похибки вимірювання імпедансу.

Аналіз стану тематики та постановка задачі. Вимірювання імпедансу є актуальною задачею для багатьох галузей наукової та практичної діяльності: хімічної, медичної, екологічної, сільськогосподарської, поліграфічної тощо [1-6]. При цьому опосередковано здійснюється вимірювання та контроль різноманітних фізичних величин (вологості, тиску, корозії тощо), якщо відома залежність цієї величини від імпедансу. Оскільки реальні досліджувані об'єкти можна описати за допомогою багатоеlementних схем заміщення, тому їхні параметри можна визначити тільки шляхом опрацювання результатів вимірювання складників імпедансу на низькій частоті. Для реалізації цього завдання використовують частотні аналізатори імпедансу (ЧАІ), основними вимогами яких є: стабільність метрологічних характеристик вимірювального каналу в широкому частотному діапазоні, висока швидкодія, швидке перенастроювання частоти зондувального сигналу з потрібним кроком, прив'язка результатів вимірювання імпедансу до поточного значення частоти, забезпечення високої роздільної здатності за виділення активної і реактивної складових частин імпедансу.

Серед методів синтезу ЧАІ перспективним є побудова ЧАІ з використанням засобів прямого цифрового синтезу (DDS) та цифрового опрацювання сигналів, типову структурну схему якого представлено на рис. 1.

¹ асист. Ю.В. Хома, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² доц. Р.М. Івах, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ доц. І.Д. Питель, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

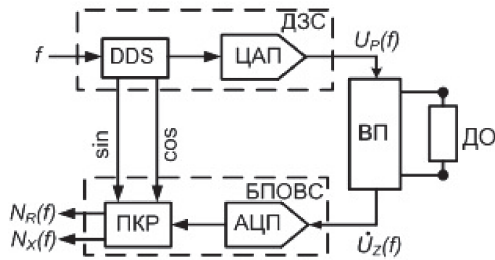


Рис. 1. Структура ЧАІ на основі цифрового синтезу (DDS) та опрацювання сигналів

У вимірювальному перетворювачі (ВП) під дією зондувального сигналу U_P однойменного джерела (ДЗС) імпеданс $Z_X = R + jX$ досліджуваного об'єкта (ДО) перетворюється у пропорційну комплексну напругу U_Z . До складу блоку перетворення та опрацювання вимірювальних сигналів (БПОВС) входять: аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який оцифровує миттєві значення комплексної напруги U_X , та пристрій квадратурного розділення (ПКР), що забезпечує виділення синфазної та квадратурної компонент комплексної напруги U_X , пропорційних відповідно активній R та реактивній X складовим частинам імпедансу ДО.

Метою роботи є створення метрологічної моделі вимірювального каналу частотного аналізатора імпедансу, яка відображала б основні дестабілізаційні фактори у контексті вимірювальних перетворень і була придатною до застосування в інженерній практиці.

Методика проведення досліджень. Використовуючи структурну схему ЧАІ, яку зображено на рис. 1, варто проаналізувати механізми виникнення похибок у контексті вимірювальних перетворень сигналів. Спочатку в акумулятор фази, який знаходиться у DDS, записується m -розрядний код частоти зондувального сигналу, а на його виході формуються миттєві значення фази сигналу. Перед надходженням до перетворювача "фаза-амплітуда" табличного типу, який містить $k < m$ значень синуса і косинуса, молодші біти коду фази відкидаються, що зумовлює виникнення похибки усікання $\Delta_{УСКН}$. Табличні перетворювачі виконані на ПЗП, тому значення функцій синуса і косинуса представлені не тільки обмеженою кількістю вибірок, але із обмеженою розрядністю за амплітудою, що спричиняє виникнення похибки квантування ядра DDS – $\Delta_{KB, DDS}$. Сформовані синтезатором сигнали \sin та \cos подаються на квадратурний та цифроаналоговий перетворювачі.

Перетворювач "код-напруга" (ПКН), як складник цифроаналогового перетворювача, на основі поточних значень синусоїдального сигналу формує сходинковий аналоговий сигнал. Оскільки цифроаналоговий перетворювач має нижчу від ядра DDS розрядність, то сформований на аналоговому виході DDS-синтезатора зондувальний сигнал містить похибку квантування самого ЦАП – $\Delta_{KB, ЦАП}$. Крім цього, в ході цифроаналогового перетворення виникають ще дві похибки – апертурна $\Delta_{АПЕРТ, ЦАП}$ та похибка інтерполяції $\Delta_{ІНТЕРПЛ}$. Вихідний буфер ЦАП внесе в склад зондувального сигналу U_P деякі додаткові похибки: адитивну Δ_A (похибка зміщення нуля), мультиплікативну Δ_M (похибка коефі-

цієнта перетворення) і нелінійну $\Delta_{НЕЛ}$ (похибки інтегральної та диференціальної нелінійностей, а також немонотонності характеристики перетворення ЦАП).

У активному вимірювальному перетворювачі (АВП) під дією зондувального сигналу відбувається перетворення імпедансу досліджуваного об'єкта в пропорційну комплексну напругу. Однак в ході цього перетворення вимірювальний сигнал зазнає низки дестабілізаційних впливів: допуску резистора ΔR_0 , напруги зміщення $\Delta_{ЗМ}$, інерційності $\Delta_{ІНЕР}$ та нелінійності $\Delta_{НЕЛ}$ ОП, шумів $\Delta_{ШУМ}$ і зовнішніх впливів, як-от температурні $\Delta T_{ВПЛ}$ та часові $\Delta t_{ВПЛ}$ дрейфи, наведення $\Delta U_{ВПЛ}$ тощо. Вимірювальний сигнал U_X надходить на АЦП, де спочатку за допомогою пристрою вибірки і зберігання S&H формується дискретизований аналоговий сигнал, який потім за допомогою перетворювача "напруга-код" (ПНК) конвертується у пропорційний код. При цьому спостерігається виникнення похибок аналогічних похибкам ЦАП, а саме: похибка квантування $\Delta_{KB, АЦП}$, апертурна похибка $\Delta_{АПЕРТ, АЦП}$, адитивна, мультиплікативна та нелінійна похибка буфера $\Delta_A, \Delta_M, \Delta_{НЕЛ}$. Особливістю аналого-цифрового перетворення є виникнення похибки альязінгу $\Delta_{АЛЯЗІНГ}$.

Квадратурне перетворення характеризується виникненням похибок перетікання спектра $\Delta_{ПЕРЕТІК}$, зумовлених некоректним накладанням прямокутного вікна на вимірювальний сигнал, та похибок гармонійних спотворень $\Delta_{ГАРМ}$ і обчислювальних похибок $\Delta_{ОБЧИСЛ}$ одночастотного перетворення Фур'є. Крім цього, на роботу системи загалом матимуть негативний вплив нестабільності сигналу тактового генератора $\Delta_{ДЖІТЕР}$ та неточність формування опорної напруги $\Delta U_{ОПОР}$.

На основі проведеного аналізу складників похибок кожного вузла структурної схеми ЧАІ (див. рис. 1) розроблено метрологічну модель вимірювального каналу (рис. 2), яка відображає структуру вимірювальних перетворень, наочно показує основні джерела похибок і місця їх локалізації. Метрологічна модель дає змогу встановити взаємозв'язок між джерелами похибок на рівні структури вимірювального каналу загалом, а також оцінити характер їх впливу на кінцевий результат вимірювання складників імпедансу.

Як впливає з метрологічної моделі, за місцем виникнення похибки можна об'єднати в такі групи:

- 1) похибки DDS синтезатора: похибки квантування (обмежена розрядність); похибки усікання коду акумулятора фази;
- 2) похибки ЦАП: похибки квантування; похибки вихідного каскаду (адитивна, мультиплікативна та похибка нелінійності); апертурна похибка (невизначеність між значеннями вибірки і часом, до якого вона належить); похибка інтерполяції (сходінковість вихідного сигналу);
- 3) похибки ВП: допуск зразкового резистора; нелінійність ОП (нелінійність вихідного каскаду, нерівномірність передавальної характеристики); напруга зміщення ОП; похибки інерційності ОП; похибки, зумовлені зовнішніми впливами (температурні та часові дрейфи, нестабільність напруги живлення, різного роду наведення і гармонічні завади); шуми (ОП, джерела живлення, зразкового резистора і ДО);

- 4) похибки АЦП: похибки квантування; похибки вхідного каскаду (адитивна, мультиплікативна та похибка нелінійності); апертурна похибка; похибка альязінгу;
- 5) похибки квадратурного розділення: похибка від перетікання спектра; похибка гармонічних спотворень; обчислювальна похибка;
- 6) похибки опорної частоти та напруги: фазовий шум і джитер тактового генератора; нестабільність опорної напруги ЦАП і АЦП.

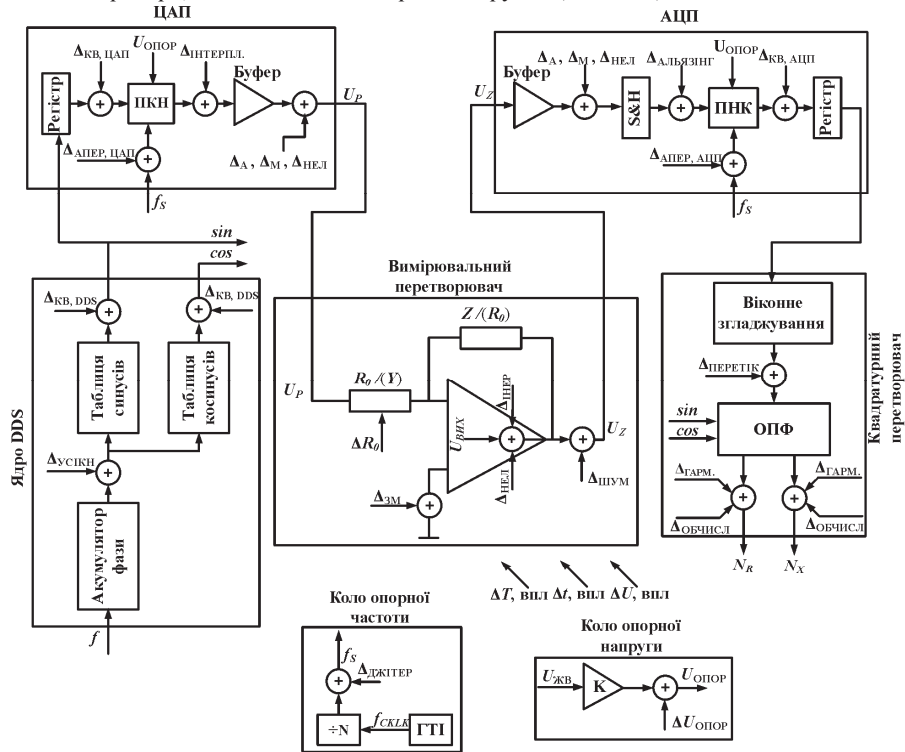


Рис. 2. Метрологічна модель вимірювального каналу ЧАІ

Способи мінімізації впливу похибок метрологічної моделі. Для оцінювання метрологічних характеристик вимірювального каналу потрібно провести оцінювання похибок, визначити, якими з них можна знехтувати, а вплив яких можна зменшити чи компенсувати.

Насамперед проаналізуємо похибки цифрової частини вимірювального каналу. На етапі квадратурного розділення значний дестабілізаційний вплив має перетікання спектра. Похибки гармонічних спотворень вимірювального сигналу визначаються передовсім спектральною чистотою сформованих DDS-синтезатором ортогональних сигналів, а відтак залежать від розрядності апаратури. Оскільки сучасні засоби цифрової техніки характеризуються відносно високою точністю, то вважатимемо вплив обчислювальних похибок незначним.

Адитивні та мультиплікативні похибки ЦАП і АЦП можна усунути на етапі калібрування. Інші ж похибки мають випадкову або квазिवипадкову при-

роду і нелінійний характер, тому повністю компенсувати їх вплив не вдається. Особливу увагу під час досліджень варто звернути на похибки альязінгу, оскільки їх характер залежить від форми передавальної характеристики АВП, зокрема й від апіорі невідомих складників імпедансу досліджуваного об'єкту. Що ж стосується інтегральної нелінійності, то в сучасних ЦАП і АЦП її значення становлять одиниці-десятки ppm, а отже, її впливом та тлі інших джерел похибок можна знехтувати.

Систематичний фазовий зсув зондувального сигналу, породжений похибкою інтерполяції, можна усунути шляхом піднаштування початкової фази сигналу на етапі калібрування. Аналогічним способом також усувають апертурні затримки ЦАП і АЦП. Апертурний джитер в існуючих ЦАП і АЦП становить доли наносекунд. Враховуючи, що очікувана частота дискретизації порядку десятків МГц, то це означає, що тривалість одного такту в сотні разів перевищує значення апертурної похибки. Відповідно її вплив не буде відчутний, оскільки за такий короткий час зміна зондувального сигналу не перевищить одного кванту, а отже, його рівень як на виході ЦАП, так і на вході АЦП залишається сталим.

Серед похибок АВП домінують частотні похибки, значення яких можуть сягати десятків відсотків. Для їх зменшення планується застосувати алгоритмічне коригування на етапі опрацювання результатів вимірювання. Допуск зразкового резистора зумовлює похибку коефіцієнта передачі АВП, яка має мультиплікативний характер, а похибка напруги зміщення – адитивний, отож їх вплив буде компенсовано на етапі калібрування вимірювального каналу. Оскільки операційний підсилювач працює зі сигналами низького рівня, то вимірювальний сигнал знаходитиметься в лінійній області, а відтак похибка нелінійних спотворень ОП буде нехтовно малою. Те саме стосується впливу температурних дрейфів. Часові дрейфи можна мінімізувати періодичним калібруванням вимірювального каналу, а вплив наведень ослаблюється за допомогою екранування вимірювальних кіл. Отже, точність роботи вимірювальної схеми визначатиметься в основному ефективністю алгоритмічної корекції і шумами.

Оскільки опорна напруга ЦАП і АЦП формується одним джерелом, то похибка від її нестабільності буде природним чином самоскомпенсована і не знизить точність результату вимірювання. Крім цього, обрана структура вимірювального каналу забезпечує інваріантність до нестабільності опорної частоти, оскільки структурні елементи цифрової частини (DDS і одночастотні перетворювачі Фур'є), а також аналого-цифрового інтерфейсу (ЦАП і АЦП) синхронізовані тактовою частотою одного і того ж генератора імпульсів.

Висновки. Проаналізовано структуру та особливості вимірювального каналу засобів вимірювання імпедансу на базі активних вимірювальних перетворювачів. Аналіз здійснено з точки зору забезпечення стабільних метрологічних характеристик у широкому діапазоні, як вимірювальних величин, так і робочих частот. Для оцінювання точності вимірювального каналу ЧАІ розроблено метрологічну модель вимірювального каналу, яка не тільки враховує основні джерела похибок та відображає структуру вимірювальних перетворень, але й наочно показує основні джерела похибок і місця їх локалізації і відображає при цьому їх взаємозв'язок. На основі проведеного аналізу встановлено найістотніші джерела похибок та запропоновано методи зменшення їх впливу.

Встановлено, що вирішальний вплив на точність роботи ЧАІ мають шуми та інерційність АВП, альязінг та ефект перетікання спектра. Саме кількісна оцінка похибок, зумовлених цими факторами, а також пошук шляхів їх зменшення і буде предметом подальших досліджень.

Література

1. Grimnes S. Bioimpedance & Bioelectricity Basics / S. Grimnes, O.G. Martinsen // Second Edition : Academic Press, Elsevier, 2008. – 471 p.
2. Martinez F.S. Electrical Bioimpedance Cerebral Monitoring: Fundamental Steps towards Clinical Application: Thesis for the degree of doctor of philosophy / F.S. Martinez // Chalmers university of technology, Göteborg, Sweden, 2007. – 137 p.
3. Jaffrin M.Y. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods / M.Y. Jaffrin, H. Morel // Medical Engineering & Physics 30 (2008). – Pp. 1257-1269.
4. Григорчак І.І. Імпедансна спектроскопія : навч. посібн. / І.І. Григорчак, Г.В. Понеділок. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2011. – 352 с.
5. Barsoukov E. Impedance spectroscopy: theory, experiment and application / E. Barsoukov, J.R. Macdonald. – New York : Wiley, 2005. – 595 p.
6. Сафонов В.А. Імпедансна спектроскопія для изучения и мониторинга коррозионных явлений / В.А. Сафонов // Электрохимия : сб. науч. тр. – 1993. – Т. 29. – № 1. – С. 152-160.
7. Хома Ю.В. Концепція побудови частотних аналізаторів імпедансу з покращеними метрологічними характеристиками / Ю.В. Хома // Електротехнічні та комп'ютерні системи : зб. наук. праць. – 2012. – № 06(82). – С. 137-144.
8. Хома Ю.В. Переваги застосування DDS та DSP технологій для побудови засобів імпедансної спектроскопії / Ю.В. Хома // Методи і засоби вимірювання фізичних величин "Температура-2012" : тези доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф. студентської секції "Кибер-фізичні системи в метрології". – Львів, 25-28 вересня 2012 р. – С. 27-28.

Надіслано до редакції 24.02.2016 р.

Хома Ю.В., Ивах Р.М., Пытель И.Д. Разработка метрологической модели частотного анализатора импеданса прямого действия

Проанализирована структура и особенности измерительного канала средств измерения импеданса на базе активных измерительных преобразователей. Для оценки точности измерительного канала частотного анализатора импеданса разработана метрологическая модель измерительного канала, которая не только учитывает основные источники погрешностей и отражает структуру измерительных преобразований, но и наглядно показывает основные источники погрешностей и места их локализации и отражает при этом их взаимосвязь. На основе проведенного анализа установлены существенные источники погрешностей и предложены методы уменьшения их воздействия.

Ключевые слова: сопротивление, измерения импеданса, частотные анализаторы импеданса, активные измерительные преобразователи, метрологическая модель измерительного канала, погрешности измерения импеданса.

Khoma Yu.V., Ivakh R.M., Pytel I.D. The Development of the Metrological Model for Frequency Analyser of Direct Action Impedance

The structure and characteristics of measuring channel impedance measurement tools based on active measuring transducers are analysed. To assess the accuracy of measuring channel frequency impedance analyser a metrology measuring channel model is developed. The model concerns the main source of errors and displays the structure of measuring change, and also illustrates the major sources of an error and place and displays their location with their relationship. Based on the analysis, the most significant sources of error are defined, and also the methods to reduce their impact proposed.

Keywords: impedance measuring impedance, frequency impedance analysers, active transducers, metrological model measuring channel impedance measurement errors.

УДК 630*375:[514.85:629.3.012]

ОБҐРУНТУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ТРЕЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІД ЧАС ПЕРЕХОДУ НА НОВУ СМУГУ ТРЕЛЮВАННЯ

Ю.І. Цимбалюк¹

Отримано рівняння, що дає змогу будувати доцільну траєкторію руху початкової точки малогабаритної трелювальної системи під час її плавного переходу на нову смугу трелювання. Обґрунтування стосується трелювання сортиментних лісоматеріалів у напівзавантаженому стані під наметом штучно створеного рядного лісового насадження. При цьому враховують таксаційні показники насадження, габарити трелювальної системи та схема розміщення дерев. Отримане рівняння доповнює відомі положення кінематики трелювальної системи і може використовуватися також для побудови перехідних кривих трелювальних волоків. Буде корисним для комп'ютерної імітації руху трелювальної системи під наметом штучно створеного рядного лісового насадження.

Ключові слова: кінематика, сортиментний лісоматеріал, рубка догляду, трелювання, малогабаритна трелювальна система.

Стан питання та огляд існуючих досліджень. Трелювання деревної сировини під наметом лісового насадження ускладнюється великою кількістю перешкод на шляху руху трелювальної системи насамперед ростучих дерев, які потрібно обходити, не пошкоджуючи їх. Найчастіше такі умови трелювання деревини виникають під час виконання рубок формування та оздоровлення лісів. Залежно від технології, яка приймається з урахуванням значної кількості чинників і передусім екологічних, трелювальна система може переміщуватися наперед прокладеними шляхами або маневруючи між деревами, переходячи з однієї умовно прийнятої смуги трелювання на іншу. І в першому, і в другому випадках перехід трелювальної системи на інший трелювальний волок або іншу смугу має виконуватися плавно. А в разі трелювання під наметом лісового насадження – з урахуванням розміщення дерев та основних таксаційних показників насадження.

Технологічні аспекти виконання доглядових рубань і зокрема операції трелювання деревини висвітлено у роботах таких відомих науковців, як: Т.М. Шкіря, В.Г. Кочегаров, Ю.А. Бит, В.Н. Меншиков, А.П. Матвейко та ін. Наявні схеми розміщення трелювальних волоків [1-3], передбачають примикання пасічних трелювальних волоків до магістральних під певним кутом. Зокрема, у роботі [4] зазначено, що пасічні волоки і технологічні коридори повинні примикати до магістральних шляхів плавно. Це потребує математичного обґрунтування доцільної траєкторії руху початкової точки трелювальної системи.

Виходячи із зазначеного вище, метою роботи є теоретичне обґрунтування доцільної траєкторії плавного переходу трелювальної системи на іншу смугу трелювання або трелювальний волок під час трелювання деревної сировини у напівзавантаженому стані під наметом штучно створеного рядного лісового насадження.

Основний матеріал. Обґрунтування подано для малогабаритної трелювальної системи, що виконує трелювання круглих лісоматеріалів у напівзавантаженому стані вздовж міжряддя штучно створеного рядного лісового насадження з певною схемою розміщення дерев і таксаційними показниками. При

¹ ст. викл. Ю.І. Цимбалюк, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів