

67-72-13/1
29.02.16

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Шиманського Володимира Михайловича "Математичне
моделювання неізотермічного вологоперенесення та в'язко-
пружного деформування у середовищах з фрактальною
структурою", представлену на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне
моделювання та обчислювальні методи**

Актуальність теми.

На сьогоднішній день актуальною є наукова задача створення адекватних математичних моделей нерівноважних фізичних процесів. Особливо це важливо, коли мова йде про системи з фрактальною структурою. Особливість фізичних систем з фрактальною структурою полягає в тому, що для них істотні такі властивості, як: "пам'ять", складна природа просторових кореляцій та ефекти самоорганізації та детермінованого хаосу. Створення адекватних математичних моделей для цих систем вимагає залучення нетрадиційних підходів, заснованих на застосуванні математичного апарату диференціальних рівнянь дробового порядку. На відміну від традиційного підходу, коли для кількісного опису досліджуваного явища використовувалися відповідні рівняння, що мають заданий клас розв'язків, застосування апарату інтегро-диференціювання дробової розмірності дозволяє використовувати однопараметричний континуум диференціальних рівнянь. Це принципово змінює підхід до аналізу експериментальних даних, дозволяючи використовувати новий параметр, а саме дробовий показник похідної. Область реологічної поведінки деревини, яку характеризують пружні та в'язко-пружні деформації є дослідженою в достатній мірі. Однак залишкові деформації, зумовлені фрактальною структурою матеріалу деревини, не є достатньо вивченою областю цього процесу. Фрактальний підхід вносить новий рівень розуміння динаміки співвідношення оборотних і необоротних процесів в основі яких лежать врахування ефекту «пам'яті» складна природа просторових кореляцій та ефекти самоорганізації та детермінованого хаосу.

Відповідність спеціальності.

Зміст дисертаційної роботи (мета, задачі досліджень, методи досліджень, висновки, область використання, впровадження) відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана у межах науково-дослідних робіт Національного лісотехнічного університету України, а саме: "Математичне і програмне забезпечення автоматизації розрахунку багатофазних термодинамічних систем", № держреєстрації

0110U000657, 2011-2012 рр.; “Програмно-алгоритмічні засоби та інформаційні технології автоматизації досліджень енергоефективних процесів сушіння деревини”, № держреєстрації 0113U001268, 2013-2014 рр.; “Математичне моделювання нерівноважних деформаційно-релаксаційних і тепломасообмінних процесів у середовищах з фрактальною структурою”, № держреєстрації 0115U002316, 2015-2017 рр.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

- розроблено нову математичну модель в'язко-пружного деформування капілярно-пористих матеріалів з фрактальною структурою у процесі сушіння, яка дає можливість розширити її множину реалізацій, врахувати анізотропію змінних тепломеханічних характеристик, пружні, в'язко-пружні та залишкові деформації деревини, усадку гігроскопічних матеріалів, наявність ефектів «пам'яті» та самоорганізації, що притаманні середовищам з фрактальною структурою;
- вдосконалено двовимірну математичну модель неізотермічного вологоперенесення капілярно-пористих матеріалів з анізотропними теплофізичними характеристиками для нерегулярного та регулярного режимів процесу сушіння, яка на відміну від відомих, розширює множину її реалізацій шляхом врахування фрактальної структури та матеріалу;
- вперше досліджено двовимірне в'язко-пружне деформування деревини, як середовища з фрактальною структурою, в умовах неізотермічного вологоперенесення та встановлено закономірності впливу технологічних параметрів режиму сушіння, анізотропії змінних тепломеханічних характеристик на розподіли температури, вологовмісту і компонент напружено-деформівного стану, що дають змогу оцінити залишкові напруження у висушуваній деревині;
- вперше отримано скінченно-різницевої апроксимації математичних моделей неізотермічного вологоперенесення та в'язко-пружного деформування деревини у процесі сушіння, які за допомогою дробового параметра α враховують наявність ефектів «пам'яті» та самоорганізації у матеріалі під час реалізації цих моделей.

Значення результатів роботи для науки і практики.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні системи автоматизованого скінченно-різницевого розрахунку температури, вологовмісту та компонент напружень під час сушіння капілярно-пористих матеріалів з урахуванням їх фрактальної структури та технологічних параметрів агента сушіння. Запропоновано алгоритм

апроксимації експериментальних даних повзучості деревини за допомогою лінійної комбінації дробово-експоненціальних операторів. Розроблено методику вимірювання напружень на поверхні висушеної деревини для контролю та виявлення напружень, зокрема залишкових.

Результати дисертаційної роботи використано на ВКФ “Ледас-Україна” (м. Хуст, Закарпатська область) для аналізу розподілів температури, вологовмісту та компонент напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння, що дає можливість здійснити вибір режимних параметрів для забезпечення необхідної якості продукції. Результати наукових досліджень використано та відображено у програмах навчальних дисциплін кафедри інформаційних технологій Національного лісотехнічного університету України: “Математичне моделювання в інформаційних технологіях проектування”, “Обчислювальні методи механіки суцільного середовища”, “Моделювання систем”, “Штучні нейронні мережі”.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів забезпечується: використанням основних положень термодинаміки нерівноважних процесів у середовищах з фрактальною структурою, спадкової теорії Больцмана-Вольтерра, математичного апарату інтегро-диференціювання дробового порядку, які покладені в основу роботи; математичною строгістю та коректністю постановки крайових задач, які розв’язуються в роботі; коректне використання числових методів дослідження задач неізотермічного вологоперенесення та в’язко-пружного деформування середовищ з фрактальною структурою; узгодження окремих результатів з відомими експериментальними та теоретичними даними.

Висновки і рекомендації підтверджуються апробацією результатів досліджень та відповідним актом (від 17.04.2015 р.) впровадження у виробництво.

Повнота викладу основних результатів у наукових фахових виданнях.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 21 наукову працю, з яких 6 – наукових статей опубліковані у фахових виданнях, 14 – матеріали міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій і семінарів, де були апробовані матеріали дисертації. Отримано один патент України на корисну модель. У вказаних наукових працях достатньо повно відображено результати роботи здобувача.

Короткий зміст роботи і її аналіз

Дисертаційна робота Шиманського Володимира Михайловича загальним обсягом 193 сторінки складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаної літератури із 215 найменувань і

додатків. Основний текст, викладений на 149 сторінках, містить 66 рисунки та 12 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання дослідження, охарактеризовано наукову новизну і практичне значення результатів, відзначено особистий внесок автора, подано структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проведено аналіз моделей неізотермічного вологоперенесення та в'язко-пружного деформування деревини у процесі сушіння. Показано, що деревина є капілярно-пористим матеріалом з складною природою просторових кореляцій та наявністю характерних для неї ефектів «пам'яті», самоорганізації і детермінованого хаосу. Розглянуто можливі засоби для створення адекватних математичних моделей процесів, що протікають у деревині під час сушіння, та які б враховували усі згадані вище властивості цього матеріалу. Доведено доцільність залучення математичного апарату інтегро-диференціювання дробового порядку для побудови таких моделей. Проаналізовано основні праці, присвячені вивченню цього математичного апарату. Показано, що фрактальний підхід вносить новий рівень розуміння динаміки співвідношення оборотних і необоротних процесів, в основі яких лежать самоорганізація та врахування ефекту «пам'яті». Розглянуто відомі аналітичні та чисельні методи для знаходження розв'язку диференціальних рівнянь з похідними дробового порядку. Матеріали розділу підтверджують актуальність дослідження та правильність формулювання мети та задач для її розв'язання.

У другому розділі, опираючись на основні закони термодинаміки побудовано математичну модель неізотермічного вологоперенесення у капілярно-пористих матеріалах з фрактальною структурою, що дозволяє врахувати складну природу просторових кореляцій, наявність ефектів «пам'яті», самоорганізації та детермінованого хаосу у матеріалі.

Отримано скінченно-різницеву апроксимацію системи диференціальних рівнянь та граничних умов задачі неізотермічного вологоперенесення деревини у процесі сушіння. Розроблено прикладне програмне забезпечення надає можливість обчислити динаміку температури та вологовмісту капілярно-пористих матеріалів з фрактальною структурою під час цього технологічного процесу.

Обґрунтовано адекватність та проведено верифікацію математичної моделі неізотермічного вологоперенесення капілярно-пористих матеріалів з фрактальною структурою у процесі сушіння. Доведено збіжність скінченно-різницевого методу предиктор-коректор, що заснований на явній та неявній скінченно-різницевій апроксимації диференціальних рівнянь моделі.

У третьому розділі, використовуючи основні закони механіки спадкових середовищ та математичний апарат інтегро-диференціювання дробового порядку отримано нові математичні моделі в'язко-пружного деформування капілярно-пористих матеріалів з фрактальною структурою у процесі сушіння, що дозволяє врахувати складну природу просторових кореляцій, наявність ефектів «пам'яті», самоорганізації та детермінованого хаосу.

Розроблено прикладне програмне забезпечення для знаходження компонент напружень деревини у процесі сушіння з урахуванням її фрактальної структури. Для реалізації відповідних математичних моделей використано отриману скінченно-різницеву апроксимацію основних рівнянь реологічної поведінки деревини у процесі сушіння з урахуванням її фрактальної структури.

Апроксимовано експериментальні дані повзучості деревини за допомогою лінійної комбінації дробово-експоненціальних операторів, що дозволяє підвищити точність апроксимації.

Обґрунтовано адекватність та проведено верифікацію математичної моделі в'язко-пружного деформування капілярно-пористих матеріалів з фрактальною структурою у процесі сушіння шляхом аналізу похибок та виявлення кореляційного зв'язку між отриманими результатами та експериментальними даними. Доведено збіжність використовуваного скінченно-різницевого методу.

У четвертому розділі, дисертації наведено реалізацію отриманих математичних моделей за допомогою розробленого прикладного програмного забезпечення для дослідження динаміки температури, вологовмісту та компонент напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння з урахуванням її фрактальної структури залежно від геометричних розмірів, точок взірця, температури, відносної вологості та швидкості руху агента сушіння. Це дає змогу кількісно оцінити вплив ефектів «пам'яті», самоорганізації та детермінованого хаосу притаманних деревині на зміну досліджуваних величин.

Проаналізовано динаміку температури і вологовмісту та компонент напружень для двоступеневого режиму сушіння деревини з урахуванням фрактальної структури матеріалу та без її урахування залежно від геометричних розмірів та параметрів агента сушіння.

Отримано функції релаксації, вільної енергії та ентропії для реологічних моделей Максвелла, Фойгта та Кельвіна, що враховують фрактальну структуру матеріалу. Це дає змогу розширити множину застосування цих моделей та обчислити їх термодинамічні характеристики, які враховують ефекти «пам'яті», самоорганізації та детермінованого хаосу матеріалу.

Все це дозволило автору розв'язати важливі для обґрунтування раціональних режимних параметрів процесу сушіння деревини нові задачі, щодо визначення в'язко-пружного стану матеріалу як середовища

з фрактальною структурою та врахуванням анізотропії механічних характеристик і зміни параметрів агента сушіння.

У п'ятому розділі, запропоновано методику прямого вимірювання повних напружень на поверхні висушеного пиломатеріалу за величиною підведеного механічного зусилля до еталону.

Розроблено прикладне програмне забезпечення для знаходження коефіцієнтів апроксиманти експериментальних даних повзучості деревини, побудованої у вигляді лінійної комбінації дробово-експоненціальних операторів, та відповідного дробового параметра.

Наведено практичні рекомендації щодо вибору режиму сушіння. Вони покликані допомогти визначити раціональні параметри агента сушіння та регулювати процес переходу до наступного режиму сушіння, що в свою чергу приводить до підвищення якості висушеної деревини.

Дисертаційна робота завершується висновками і рекомендаціями, які логічно витікають з виконаних досліджень.

Відповідність змісту автореферату положенням дисертації

Автореферат і дисертація оформлені відповідно до вимог ДАК МОН України. Матеріал викладено послідовно та логічно. Автореферат з достатньою повнотою розкриває зміст і суть роботи і не містить інформації, яка відсутня в дисертації.

Виявлені зауваження до роботи

- Не у повній мірі проаналізовано властивості математичного апарату дробового інтегро-диференціювання, що приводять до підвищення обчислювальних затрат під час реалізації математичних моделей, побудованих з його використанням.
- У диференціальних рівняннях математичної моделі неізотермічного вологоперенесення присутня похідна дробового порядку по часовій координаті, проте по просторовій координаті застосовується традиційний оператор диференціювання другого порядку; для більш повного врахування в моделі властивостей процесу неізотермічного вологоперенесення доцільно було б розповсюдити використання похідної дробового порядку також і по просторовій координаті.
- Під час реалізації математичних моделей кількість вузлових точок по часовій координаті береться на 4 порядки більша, ніж по просторових координатах. При цьому не достатньо обґрунтовано такий вибір скінченно-різницевого розбиття.
- У розділі 3.6 апроксимовано експериментальні дані повзучості деревини за допомогою дробово-експоненціальних функцій. При цьому не обґрунтовано вибір кількості дробово-експоненціальних

операторів Работнова, з яких утворюється апроксиманта експериментальних даних повзучості деревини.

- У розділі 3.7 проводиться порівняння результатів реалізації моделі із результатами, отриманими іншими дослідниками в часткових випадках. Проте відсутнє порівняння з експериментальними даними, яке доцільно було б провести для загального випадку.
- Розроблені математичні моделі дозволяють виявити закономірності впливу процесу тепломасоперенесення на динаміку залишкових, тангенціальних та радіальних напружень у деревині в процесі сушіння. Однак ці моделі не дають відповіді щодо впливу напружено-деформівного стану висушеної деревини на зміну температури і вологості, на що доцільно звернути увагу в подальших дослідженнях.
- У розділі 4.5 проаналізовано основні термодинамічні функції фрактальних реологічних моделей Фойгта, Максвелла та Кельвіна залежно від породи деревини та геометричних точок взірця. Проте не у повній мірі висвітлено, яким чином ці характеристики матеріалу враховуються у аналітичному вигляді функцій.
- У роботі вказано, що реалізація математичних моделей та використання методики визначення напружень на поверхні висушеного матеріалу дозволяє здійснити вибір раціональних режимних параметрів процесу сушіння. Не в повній мірі висвітлено методику, що дає можливість зробити цей вибір. З цією метою доцільною була б постановка та реалізація відповідної оптимізаційної задачі.
- Показник дробової похідної, який використовується у математичних моделях, визначається із реологічної поведінки деревин. У роботі не у повній мірі описано доцільність використання показника обчисленого в такий спосіб у математичній моделі неізотермічного вологоперенесення.

ВИСНОВОК

Виявлені недоліки не знижують наукової і практичної цінності дисертації, вона є завершеною науковою роботою, в якій розв'язано наукову задачу математичного моделювання неізотермічного вологоперенесення та в'язко-пружного деформування у середовищах з фрактальною структурою, що має важливе значення для розроблення та обґрунтування енергоощадних технологій гідротермічного оброблення деревини за умови забезпечення необхідної якості продукції.

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи та вимогам ДАК МОН України щодо кандидатських дисертацій, зокрема, п. 11, 13, 14 положення про “Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння

вченого звання старшого наукового співробітника". Її автор, Шиманський Володимир Михайлович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

Завідувач кафедри системотехніки
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор

Гребеннік І. В.

Підпис проф. Гребенніка І.В. засвідчую
Вчений секретар ХНУРЕ



І.В. Магдаліна