

ВІДГУК

рецензента кандидата технічних наук **Аксьонові Олени Федорівни** на дисертаційну роботу **Білого Дмитра Володимировича** на тему **«Вдосконалення технологій та обладнання з переробки рослинної сировини екстракцією зрідженими газами і кріосублімаційним фракціонуванням»**, подану на здобуття освітньо-наукового рівня доктора філософії зі спеціальності 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології».

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 326 найменувань, у тому числі 292 зарубіжних, і 2 додатків. Дисертація викладена на 244 сторінках машинописного тексту (основна частина – 158 сторінок), містить 45 таблиць та 43 рисунків.

Актуальність теми дисертаційної роботи. На сьогодні основними технологіями виробництва рідких харчових добавок з рослинної сировини є дистиляція з водяною парою та екстракція гексаном, петролейним ефіром, спиртом, ацетоном, перхлоретиленом тощо. Всі ці методи мають відомі недоліки. Зокрема, під час дистиляції з водяною парою відбувається значне руйнування молекулярних термолабільних комплексів внаслідок гідролізу та високої температури під час цього процесу, що знижує біологічну цінність таких екстрактів. Використання органічних розчинників також може призвести до руйнування кінцевого продукту реакційноздатними сполуками таких розчинників. Крім того, процес видалення органічних розчинників з екстракту призводить до випаровування найбільш летючих сполук, тому майже завжди кінцевий продукт містить залишки цих розчинників. Також, видалення органічного розчинника знижує біологічну цінність таких екстрактів. Тому перспективним шляхом вирішення проблеми підвищення якості рослинних екстрактів є використання кріотехнологій переробки рослинної сировини.

Дисертаційна робота виконано відповідно до тематики науково-дослідної роботи кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування Державного біотехнологічного університету, зокрема в межах науково-дослідних тем: № НДР № 0121U114569 «Дослідження та удосконалення процесів та обладнання для електромагнітної та холодильної обробки харчових продуктів», НДР № 0124U00044 «Удосконалення тепло-масообмінних процесів та обладнання для холодильної й електромагнітної

обробки харчової сировини». Апробацію на виробництві проводили в рамках госпдоговірних тем № 54-23-24 ДП "Методичні рекомендації до заморожування курячих субпродуктів"; № 38-24-25 ДП «Методичні рекомендації щодо удосконалення виробничої лінії охолодження м'ясної продукції в умовах тривалого відключення електропостачання», що виконувались на замовлення підприємства ТОВ «М'ясний Цех», №33-25 «Надання науково-практичних послуг щодо підвищення ефективності пайки на виробництві», що виконувались на виробничих площах підприємства з виробництва промислового холодильного обладнання ТОВ «Кул Фекторі», які були підтверджено актами впровадження в виробництво при виконанні науково-дослідної роботи «Дослідження та удосконалення процесів та обладнання для електромагнітної та холодильної обробки харчових продуктів №11-22Б (0121U114569). Автор дисертаційної роботи є одним із виконавців зазначених тем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, що сформульовано у дисертації. Наведені в дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є достовірними та належно обґрунтованими. Для цього автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження. Автором виконано достатньо широкий аналіз літературних джерел з досліджуваної тематики, в результаті якого визначено основні шляхи вдосконалення технологій та обладнання з переробки рослинної сировини екстракцією зрідженими газами і кріосублімаційним фракціонуванням. Дисертація вміщує достатню кількість розрахункових схем, графічного пояснювального матеріалу, таблиць, опису методик досліджень та експериментального обладнання, що використовувалося для вирішення проблеми підвищення якості рослинних екстрактів з використанням кріотехнологій переробки рослинної сировини.

Експериментальні дослідження було реалізовано із застосуванням аналітичних методів дослідження з використанням теорії тепло-масообміну, експериментальних методів дослідження процесу екстракції зрідженими хладами та кріосублімації з використанням автоматичних систем керування та моніторингу, визначення фізико-хімічних показників методами спектрофотометрії, високоефективної рідинної хроматографії та газової хроматографії з маспектрометричним і полум'яно-іонізаційним детекторами. Для опрацювання та узагальнення отриманих експериментальних результатів було використано спеціалізовані програми та програмні комплекси: Microsoft Office 365, PTC MathCAD, Exel, Phytion.

Результати досліджень викладено у висновках до кожного розділу, а також у восьми загальних висновках. Відносно обґрунтованості, достовірності та новизни кожного висновку зроблено деякі зауваження.

Висновок перший – відображає результати аналізу літературних джерел та сформульовано науково-прикладну проблему дослідження. Висновок має інформаційний характер.

Висновок другий – інформує про вирішену науково-прикладну задачу, спрямовану на підвищення ефективності процесу екстракції шляхом використання **зріджених газів і кріосублімаційного фракціонування** у порівнянні з традиційними методами екстракції про що свідчить ширший спектр неполярних біологічно активних речовин, що забезпечують кращу ароматичну насиченість, виключають наявність залишкових органічних розчинників. Висновок має характер констатації факту виконаної роботи.

Висновок третій – стосується вибору методу кріосублімаційного сушіння з фракціонуванням, як підготовчого етапу переробки рослинної сировини та повного її використання шляхом отримання кріосубліматів, які характеризуються високою стабільністю, біологічною цінністю та безпечністю. Висновок вагомий, має практичну значимість.

Висновок четвертий – стосується обґрунтування фізичних моделей процесу кріосублімації та екстрагування рослинної сировини зрідженими газами. Запропоновано модифіковане рівняння дифузії, яке дозволяє теоретично прогнозувати умови селективного виділення певних молекулярних фракцій з конденсату в процесі кріосублімації. Висновок має високу теоретичну та практичну значимість.

Висновок п'ятий – стосується результатів визначення хімічного складу та показників якості отриманих хладонових екстрактів; показано їх перевагу у порівнянні з надкритичною екстракцією в CO₂. Досліджено якісний та кількісний склад екстрактів сухих та водних фракцій рослинної сировини отриманих кріосублімаційним фракціонуванням топінамбуру. Встановлено, що рідинна фракція містить вуглеводний комплекс з концентрацією 0,124±0,004 г/л, що підтверджує більш ефективне вилучення інуліну з сировини. Висновок вагомий, має науково-практичну значимість.

Висновки шостий – інформує про розроблену аналітичну модель екстрагування, яка враховує змінну концентрацію на міжфазній поверхні екстрагент-частинка, довільну геометричну форму частинки, задане співвідношення об'ємів екстрагент – сировина, константу розподілу фазової рівноваги системи. Експериментально підтверджено адекватність запропонованого кінетичного рівняння та отримано всі масообмінні характеристики процесу екстракції. Підтверджено існування оптимальних

умов екстрагування, за яких досягається максимальна продуктивність за виходом екстракту за певних співвідношень об'ємів розчинник - сировина та кількості екстракційних циклів Висновок має науково-практичну спрямованість.

Висновок сьомий – наголошує на удосконаленні екстракційної установки шляхом встановлення азотного уловлювача, який дозволяє знизити втрати розчинника на 3–5% за цикл рекуперації, зменшити залишковий вміст хладону в екстракті та шроті до 0,01%, скоротити викиди розчинника в атмосферу та підвищити безпечність і замкнутість технологічного циклу. Висновок має науково-практичну спрямованість.

Висновки восьмий – інформує про розроблення апаратно-технологічної схеми комплексної переробки рослинної сировини, яка поєднує криосублімаційне фракціонування та хладонову екстракцію. Доведено економічну ефективність іновативної технології екстрагування зрідженими хладонами за рахунок скорочення витрат на хладон мінімум у 2 рази, зростання прибутку в 1,6–2,5 рази, скорочення періоду окупності інвестицій у середньому на 1,5–2 роки.

Наукова цінність дисертаційної роботи. Цінним для науки є результати, що отримані автором: запропоновано модифіковане рівняння дифузії, яке дозволяє теоретично прогнозувати режими криосублімаційного фракціонування для селективного виділення певних молекулярних фракцій з конденсату в процесі сублімації та експериментально підтверджено існування такого раціонального режиму. Розроблено аналітичну модель процесу екстрагування зрідженими хладонами. Підтверджено адекватність розробленої моделі, яка описує експериментальні данні кінетики екстрагування з відносною похибкою 1...2%. Вперше отримано значення коефіцієнтів масообміну у середовищі хладону R406A для досліджених рослинних матеріалів. Аналітично та експериментально підтверджено існування оптимального режиму екстрагування зрідженими газами, який забезпечує максимальну продуктивність за виходом цільового компоненту за певних співвідношень об'ємів розчинник - сировина та кількості циклів процесу екстракції. Визначено компонентний склад ліпофільних компонентів з нативною структурою найбільш цінних біомолекул та число аромату хладонових екстрактів. Вперше встановлено, що рідинна фракція отримана в процесі криосублімаційного фракціонування топінambuру містить вуглеводний комплекс з концентрацією $0,124 \pm 0,004$ г/л, що підтверджує більш ефективне вилучення інуліну з сировини.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці апаратно-технологічної схеми комплексної переробки рослинної сировини; визначенні оптимальних технологічних режимів процесу екстракції зрідженими хладачами; розрахунку та впровадженні азотного уловлювача в контурі рекуперації розчинника для екстракційної установки зрідженими газами; доведенні економічної ефективності інноваційної технології екстрагування зрідженими хладачами за рахунок скорочення витрат на хладон. Результати дослідження впроваджено у виробництво на підприємстві ТОВ «М'ясний Цех», ТОВ «Кул Фекторі» та в начальний процес Державного біотехнологічного університету.

Достовірність отриманих результатів обґрунтовується коректним застосуванням сучасних методів теоретичних і експериментальних досліджень, а також підтверджується узгодженістю даних, отриманих у теоретичних розрахунках та експериментальних дослідженнях, виконаних у межах дисертаційної роботи.

Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях. За результатами виконаного дисертаційного дослідження автором опубліковано 20 наукових праць, з яких 5 статей у наукових виданнях, 3 з них – у наукових фахових виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз даних, 2 – в іноземних, 15 публікацій – у матеріалах і тезах конференцій; 1 патент України на корисну модель. Опубліковані матеріали у достатньому обсязі охоплюють зміст розділів дисертації та цілком відображають основні наукові положення і результати, що винесені на захист.

Оцінка змісту, завершеності та оформлення дисертаційної роботи. Дисертаційна робота є цілісним завершеним науковим дослідженням, яке може бути винесене на публічний захист. Структура дисертації включає вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел та додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність обраного наукового напрямку, чітко сформульовано мету дослідження, визначено його об'єкт і предмет, а також окреслено основні завдання, що потребують розв'язання. У роботі висвітлено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення. Детально зазначено особистий внесок здобувача у досягнуті результати, показано зв'язок дисертаційного дослідження з науковими програмами, планами та темами. Окрім того, подано інформацію про апробацію результатів дисертації на наукових заходах, опубліковані праці автора, а також наведено

дані щодо структури та загального обсягу дисертаційної роботи.

Зауважень до вступу немає.

В першому розділі В першому розділі дисертаційної роботи проведено порівняльний огляд джерел літератури щодо основних традиційних і сучасних методів екстрагування рослинної сировини органічного походження, з визначенням їх особливостей, переваг та недоліків. Обґрунтовано вибір хладонової екстракції, як найбільш перспективного методу вилучення ліпідних фракцій пряно-ароматичної рослинної сировини. Визначено переваги хладонової екстракції – хімічна інертність до екстрагованої олії, повне видалення розчинника із кінцевого продукту, збереження кольору, аромату, смакових властивостей, відсутність мікробіологічного забруднення. Проаналізовано фізико-хімічні та технологічно-економічні характеристики хладонів, як екстрагентів для рослинної сировини. Розглянуто принцип дії та конструкції існуючого обладнання для екстракції зрідженими хладонами. Обґрунтовано вибір сублімаційного сушіння, як підготовчого етапу для переробки рослинної сировини та кріосублімаційного фракціонування, як методу екстракції, що дозволяє виділяти ці цільові компоненти і, таким чином, повністю використовувати рослинну сировину, отримуючи сублімовану тверду фракцію та кріосублімат – рідинну фракцію, яка є цінним продуктом для косметичного, фармацевтичного та харчового виробництва.

Зауваження до першого розділу:

Зауважень немає.

В другому розділі наведено загальну характеристику об'єктів дослідження. Описано методики підготовки рослинної сировини до комплексної переробки: кріоподрібнення, сублімаційне сушіння і їх вплив на подальшу екстракцію. Описано методику та обладнання для проведення експериментального дослідження процесів кріосублімаційного фракціонування та екстрагування рослинної сировини зрідженими хладонами. Розглянуто методики аналізу фізико-хімічних показників хладонових екстрактів й сублімованої твердої та рідинної фракції рослинної сировини за допомогою газової хроматографії, спектрофотометрії, аналізу вмісту сухих речовин, визначення числа аромату.

Зауваження до другого розділу:

Рисунок 2.1. – Назва малюнку не відповідає його контенту. Також текст малюнку на англійській мові, на мій погляд назви складників треба перекласти на українську. (усунили)

Таблиця 2.7. – Назва таблиці "Складові частини екстрактів квітів календули лікарської" не відповідає контенту таблиці. Оскільки, якщо мова

йде про вміст біологічно активних речовин в екстрактах, то бажано надати концентрації визначених речовин. З попереднього тексту та вмісту таблиці не зрозуміло про яку саме екстракцію йде мова.

Таблиця 2.8 – Речення перед таблицею 2.8 "Найважливіші цінності амаранту для використання в якості харчової добавки представлені в табл. 2.8" є дивним з точки зору технічного документу та наукового стилю. Щодо таблиці 2.8. – перший стовпчик треба перейменувати, оскільки його назва "Зміст" не відповідає контексту.

В третьому розділі експериментально досліджено процес екстрагування на установці для екстракції ліпідних фракцій з біологічної сировини зрідженими хладонами з триступеневою криогенною системою рекуперації розчинників. Показано вплив режимів процесу (температури та тиску) на вихід екстракту. Визначено енергія активації процесу екстракції. Вивчено склад ліпідних фракцій в результаті, якого було ідентифіковано біля 75% компонентів, що містяться в хладонових екстрактах, показано що метод здатний вилучати широкий спектр неполярних речовин. Визначено число ароматичних речовин в екстрактах. Проведено теоретичне дослідження процесу кріосублімації рослинної сировини та експериментально підтверджено працездатність технології кріосублімаційного фракціонування для виділення фракцій з молекулярною масою до 300 а.е.м. з натуральної біологічної сировини. Визначено компонентний склад сухих та водних фракцій кріосубліматів.

Зауваження до третього розділу:

Рисунки 3.3. та 3.4. треба розвернути в "альбомний формат", оскільки розібрати яка саме інформація там міститься неможливо.

Рисунки 3.5. та 3.6. Необхідно перекласти пояснювальний текст рисунку на українську мову.

В четвертому розділі запропонована модель кінетики екстрагування у вигляді системи двох звичайних, диференціальних рівнянь, яка враховує змінну концентрацію на міжфазній поверхні системи та в об'ємі розчинника, що є особливістю процесу екстрагування зрідженими газами за кінцевого відношення об'ємів екстрагент – сировина.

Зауваження до четвертого розділу:

Зауважень немає.

У п'ятому розділі надані показники безпеки хладонових екстрактів і кріосубліматів, отриманих в результаті кріосублімації та хладової екстракції. Проведена оцінка їх органолептичних та фізико-хімічних властивостей.

Зауваження до п'ятого розділу:

Зауважень немає.

Матеріали основних розділів дисертації викладено у логічній послідовності, що відповідає сформульованим завданням дослідження та дозволяє послідовно розкрити суть проведеної наукової роботи та обґрунтувати отримані результати.

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації. Зміст анотацій, підготовлених українською та англійською мовами, повністю відповідає структурі та основним положенням дисертаційної роботи. В анотаціях у достатньому обсязі висвітлено головні результати дослідження, сформульовані висновки, а також окреслено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів.

Загальні зауваження:

В тексті роботи зустрічаються неузгоджені речення та описки, використання автоматичних переносів призводить до некоректних переносів, що знижує якість сприйняття тексту. Також мають місце пропуски слів, що сприяє втраті змісту речення.

Коментарі, зауваження та недоліки не являються суттєвими та не впливають на загальну цінність дисертаційного дослідження.

ВИСНОВОК

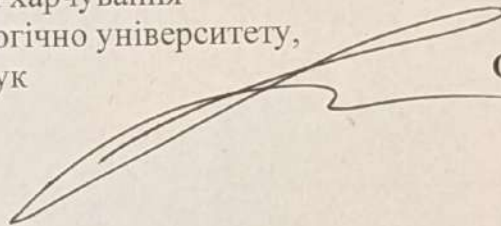
Дисертаційна робота **Білого Дмитра Володимировича** на тему **«Вдосконалення технологій та обладнання з переробки рослинної сировини екстракцією зрідженими газами і кріосублімаційним фракціонуванням»**, подану на здобуття освітньо-наукового рівня доктора філософії за спеціальності 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології», є завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати щодо вдосконалення технологій та обладнання з переробки рослинної сировини екстракцією зрідженими газами і кріосублімаційним фракціонуванням. Матеріали викладені в дисертації сприятимуть вирішенню проблеми підвищення якості рослинних екстрактів з використанням кріотехнологій переробки рослинної сировини. Зміст дисертації в достатній мірі відображено в опублікованих матеріалах досліджень (статтях та тезах доповідей). Дисертаційна робота за актуальністю і новизною отриманих результатів, їх достовірністю і обґрунтованістю, науковою і практичною цінністю, повнотою викладення матеріалу в наукових публікаціях, структурою та обсягом відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження

ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р., за спеціальності 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології».

На підставі цього вважаю, що автор дисертації **Білий Дмитро Володимирович** заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 «Харчові технології» галузі знань 18 «Виробництво та технології».

Рецензентка:

доцент кафедри хімії, біохімії,
мікробіології та гігієни харчування
Державного біотехнологічно університету,
кандидат технічних наук



Олена АКСЬОНОВА