

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ДУБА В АПАРАТАХ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ТИПУ

Акімов О.В., аспірант, Мординський В.П., к.т.н., доцент
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Анотація. У статті говориться про перспективний метод отримання рідких екстрактів за допомогою електромагнітного випромінювання. Виділяються основні переваги перед традиційними методами екстрагування. Коротко перелічено використання дубової деревини у промисловості. Було визначено основні медичні властивості компонентів дубу, запропоновано перспективне використання рідких екстрактів з дубу у виноробній промисловості. Визначено тенденцію у технології екстрагування, яка полягає у переході до інтенсивних та перспективних методів, зазначені їхні основні принципи. Визначено основні фактори, що обумовлюють перехід до нових методів екстрагування. У статті було визначено основні проблеми виробництва коньяків під час витримки, що впливають на собівартість кінцевого продукту. Зазначено ключові компоненти деревини дубу, які формують характерний смак та букет у коньяках та бренді. Сформульовані науково-технічні протиріччя процесів екстрагування і витримки, запропонована гіпотеза для їхнього вирішення. Представлені експериментальні стенди, на яких проводилися дослідження. Зазначені усі параметри, при яких проводилися експерименти. Представлені термограми процесів та визначено, що найнижча температура спостерігається у циркуляційному МХ екстракторі. З аналізу даних по концентрації сухих речовин, було визначено, що найкращі показники належать циркуляційному МХ екстрактору, де в якості екстрагенту використовувався водно-спиртовий розчин з більшою концентрацією спирту. Дані про швидкість вилучення сухих речовин додатково підтверджують високу ефективність застосування циркуляційного екстрактора. Підтверджено крацій ефект механодифузії у циркуляційному МХ екстракторі. Зроблені висновки, щодо перспективності впровадження таких апаратів у виробництво.

Ключові слова: електромагнітне поле, екстрагування, кінетика, дубова деревина, лікарські рослини.

Вступ. Одним з перспективних та інноваційних методів отримання рідких екстрактів з рослинної сировини для різних галузей промисловості є використання електромагнітного випромінювання. До переваг екстрагування за допомогою електромагнітних технологій перед традиційними методами є те, що процес може протікати при нижчих температурах, що дозволяє зберегти термолабільні компоненти сировини та за рахунок інтенсифікації процесу дифузії суттєво скоротити тривалість процесу екстрагування. А використання в якості екстрагенту таких полярних розчинників, як спирт і вода, дозволяють не тільки здешевити процес виробництва рідких екстрактів, а ще й завдяки ефекту механодифузії вилучити компоненти, які традиційні технології не здатні без використання додаткових етапів підготовки сировини та використання декількох розчинників.

Аналіз літературних джерел та формулювання проблеми. Екстрагування – це один з головних технологічних процесів в промисловості для отримання різних продуктів: екстрактів для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості, витриманих вин та коньяків. Сировиною для вищезазначених методів виступає дубова деревина. Відомо, що дубова деревина використовується для виробництва бочок, в яких проводять витримку вин та коньяків. Як альтернатива витримці у дубових бочках використовують дубові чіпси. Рідкі екстракти з дубової деревини використовуються у медицині, як для зовнішнього, так і для внутрішнього застосування. Особливо відоме використання дубу у стоматології. Компоненти деревини дубу мають кровоспинну дію, протимікробні, антиоксидантні та протизапальні властивості, позитивно впливають на шлунково-кишковий тракт, мають загоювальний ефект [1, 2]. Відоме також використання дубу як складового компоненту парфумів. Також перспективним напрямком для використання екстрактів з дубової деревини може стати їх використання при виробництві високоекстрактивних вин, як альтернатива витримці в дубових бочках або на дубових чіпсах, та як один із способів виробництва коньяків за прискореним методом. У виробництві рідких екстрактів спостерігається поступовий перехід від традиційних методів екстрагування до інтенсивних та перспективних. Їхніми основними принципами – є енергоефективність, повнота вилучення цільових компонентів, мінімальний руйнівний вплив на компоненти сировини, зменшення тривалості та трудомісткості процесу, доступність та безпечність екстрагенту. Відхід від традиційних методів обумовлений тим, що вони не дозволяють в повній мірі виснажити сировину, через що, в ній залишається значна частина цільових компонентів, при вилученні яких, вони можуть дати позитивний економічний ефект на підприємствах при правильному використанні. Крім того, не повністю виснажена сировина може негативно впливати на навколишнє середовище. Не менш важливим фактором, що обумовлює перехід – це тривалість процесу екстрагування, у традиційних методах, тривалість може складати до 24 годин, а в деяких випадках навіть більше. Тривалість також впливає на економічні показники і на якість самого екстракту. Ще

одним фактором є трудомісткість процесу, а саме необхідність заповнювати великі резервуари сировиною, настоювати тривалий час, зливати насичений екстрагент і одночасно подавати свіжий, забезпечувати протічцію сировини і екстрагента, поділяти сировину та екстрагент на частини для кожної батареї апарату і т.д. [3, 4]. У сучасних технологіях фітопрепаратів відомі поліекстракти [3] (поліфракційний екстракти) – це такі препарати, які отримують шляхом послідовного екстрагування лікарської рослинної сировини декількома розчинниками, наприклад, зі зростаючою полярністю. А таке поступове використання різних екстрагентів теж ускладнює процес виробництва та підвищує вартість готового продукту.

Виробництво витриманих вин та коньяків (брєнді) відбувається за традиційною технологією, де головним виступає процес дозрівання, який відбувається у дубових бочках під час витримки. Тривалість технологічного процесу досить висока і складає: для вин від 6 місяців, а для коньячних спиртів від 3 років і більше. Основні процеси, що протікають у цей період можна розділити на фізичні, до яких відносять екстрагування та випаровування спирту, хімічні, до яких відносять окиснення екстрагованих сполук та взаємодія між ними та біохімічні процеси, які протікають, як під час старіння клепок, так і під час витримки. Як вже зазначалося раніше, має місце випаровування спирту під час витримки, так при дотриманні всіх температурних режимів, вологості повітря та вентиляванні приміщень, середньорічні втрати спирту у навколишнє середовище становлять 3% за безводним спиртом, цей показник є достатньо високим, враховуючи саму тривалість витримки, що і призводить до високих цін на готову продукцію. Крім того, слід ще враховувати необхідність підтримання постійної температури у приміщенні де проводиться витримка та забезпечення циркуляції повітря для безпеки, через наявність парів спирту у повітрі, що теж призводить до підвищення вартості готового продукту. Відомо, що спирт проникає в деревину на невелику глибину, всього 3-4 мм, тому існує необхідність заміни деревини бочок або видалення виснаженого шару деревини з попереднім їх розбиранням, для того, щоб можна було отримати продукти належної якості. А це призводить до підвищення трудомісткості процесу, а деревина використовується не повністю [5, 6, 7].

Висока тривалість процесу витримки обумовлена низькою швидкістю процесу дифузії з деревини дубу компонентів, що приймають активну участь в утворенні характерних смаку і букету витриманих вин та коньяків. Лігнін складає в середньому 25% від маси деревини, це полярний полімер. Складається головним чином з ароматичних сполук. Основну роль тонах витримки коньяку належить продуктам розпаду лігніну, зокрема ароматичним альдегідам, відповідальних за появу у букеті цінних ванільних відтінків. Інші продукти розпаду беруть участь у формуванні «тіла» коньяку, сприяють пом'якшенню смаку, беруть участь у створенні тонів витримки у букеті. Слід відмітити, що не знайдено ще якоїсь однієї речовини або групи речовин, які утворюють «коньячний» тон у букеті, букет коньяків утворюється завдяки поєднанню ароматів багатьох сполук. Із особливостей лігніну можна відмітити, що він не розчинний у відомих розчинниках через його сітчасту структуру та хімічні зв'язки з вуглеводами. Вилучається головним чином з міжклітинної речовини і загалом важко піддається вилученню. Дубильні речовини (таніди) – це група водорозчинних екстрактивних речовин складають приблизно 10% від маси деревини, вони є найбільш легко вилученими компонентами деревини дубу. Дубильні речовини в коньячному спирті відіграють важливу роль не тільки у пом'якшенні смаку та поліпшенні забарвлення, вони також беруть участь у перетвореннях інших компонентів. Дубильні речовини беруть участь у створенні повноти та м'якості смаку. Геміцелюлози є полісахаридами і складають приблизно 22% від маси деревини. Продукти їхнього розпаду істотно впливають на формування органолептичних переваг коньяку, надаючи повноти і м'якості смаку, впливають на формування забарвлення. Термообробка деревини дає масу продуктів карамелізації [5, 8, 9].

В промисловості спостерігається попит на впровадження більш енергоефективних, з інтенсифікацією процесів дифузії та менш трудомістких методів обробки сировини. Одним з таких є електрофізичні методи обробки сировини: електростатичне поле, струми ВЧ і НВЧ, ультразвук, інфрачервоне випромінювання та ін. Використання цих методів у технологіях переробки сировини дозволяє забезпечити раціональні температурні режими, скоротити тривалість обробки, зменшити питомі витрати електроенергії, що в свою чергу, може забезпечити значний економічний зріст і підвищити якість готової продукції [10]. Серед вищезазначених методів, поступово набирає популярність НВЧ енергетика – надвисокочастотна енергетика, яка широко застосовується в різних галузях виробництва, а обумовлено це її ефективністю. Традиційні методи екстрагування не можуть в повній мірі відповідати запитам сучасних виробництв. Досить гостро постає питання повного та дбайливого використання рослинної сировини, що підштовхує на розробку нових, ресурсо- та енергоефективних, продуктивних та менш трудомістких методів отримання рідких екстрактів.

Науково-технічне протиріччя процесів екстрагування та витримки. В процесах екстрагування температура процесу є ключовим фактором. Підвищення температури, з одного боку, позитивно впливає на продуктивність екстрактора, а з іншого боку, підвищення температури має негативний вплив на збереження цільових компонентів. При витримці коньячних спиртів у дубових бочках одним з важливих процесів є екстрагування компонентів деревини для подальшого їхнього перетворення. Важливим фактором при витримці є температура: так при підвищених температурах (вище 20°C) відбувається прискорення процесу дозрівання коньячних спиртів, більший вихід екстрактивних речовин, а з іншого боку, спостерігаються значні втрати спирту та ароматичних сполук у навколишнє середовище. При знижених температурах (нижче 20°C) упові-

льність дозрівання коньячних спиртів, аромат та смак стає недостатньо розвинений, але спостерігаються менші втрати спирту у навколишнє середовище.

Гіпотеза дослідження. При використанні адресної доставки енергії, узгодженні режимних та конструкційних параметрів апаратів можна здійснити підвищений вихід лігніну, танідів, геміцелюлоз та продуктів їхнього розпаду з деревини дубу у вигляді фрагментів сітки лігніну, лігніно-вуглеводного комплексу, карамелізованих цукрів, ароматичних сполук та багатьох інших компонентів, що мають лікувальний ефект завдяки трансформації та руйнуванню структури деревини, що дозволить прискорити процес екстрагування та дозрівання вин, коньячних спиртів, надасть природного кольору коньякам, покращить їх букет та смак, дозволить отримати лікарські препарати широкого спектру дії що, в свою чергу, зможе значно змінити виробництво вин, коньяків та лікарських препаратів.

Експериментальне моделювання та методика дослідження. Для проведення експериментальних досліджень в якості сировини використовувалася дубова деревина у вигляді кубиків розміром 2 на 2 см, як термічно оброблених, так і термічно необроблених. Термічна обробка проводилася для кращого вилучення екстрактивних речовин. В якості екстрагенту використовували дистильовану воду та водно-спиртовий розчин. Експерименти проводилися на двох екстракційних установках. Схеми установок, на яких проводилися дослідження, представлені на *рис. 1* та *2*. Замір температури проводився пірометром (FLIR TG54). Концентрацію сухих речовин визначали методом висушування невеликого об'єму отриманих екстрактів у сушильній шафі, вагу вимірювали на електронних аналітичних вагах високої точності.

Всього було проведено 2 серії експериментальних дослідження з екстрагування дубової деревини водою на двох експериментальних установках та 6 серій досліджень з екстрагування дубової деревини водно-спиртовим розчином міцністю 62% об та 72% об. Параметри експериментальних досліджень представлені в *таблиці 1*.

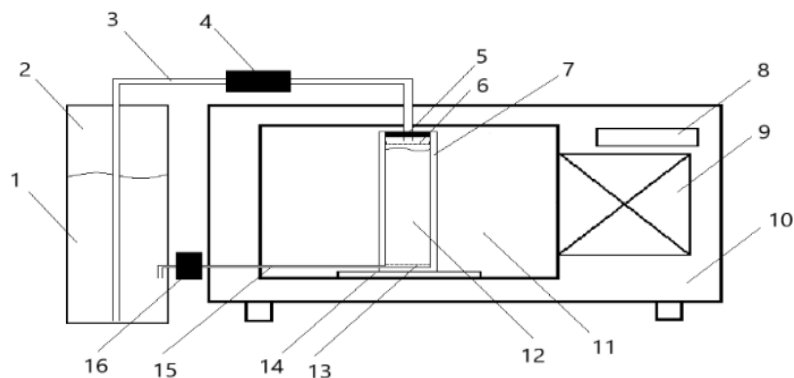


Рис. 1 – Плівковий МХ екстрактор

ПМХЕ складається з наступних елементів: 1 – об'єм екстрагента; 2 – зовнішня ємність для екстрагента; 3 – підвідний патрубок; 4 – насос; 5 – кришка реакторної камери; 6 – розпилюючий пристрій; 7 – реакторна камера; 8 – пульт керування; 9 – магнетрон; 10 – корпус установки; 11 – мікрохвильова камера; 12 – сировина; 13 – фільтруюча сітка; 14 – підставка; 15 – відвідний патрубок; 16 – кран.

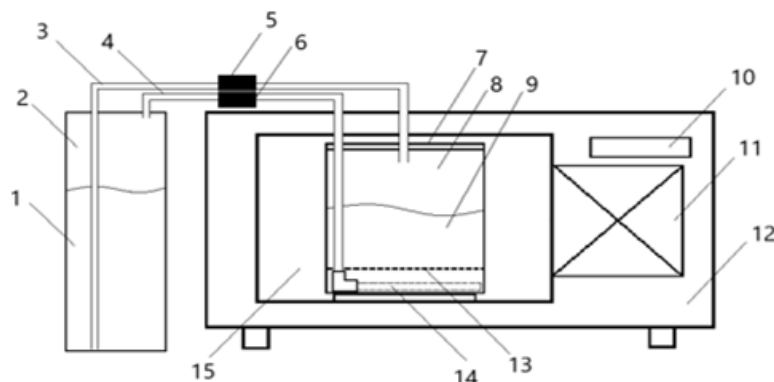


Рис. 2 – Циркуляційний МХ екстрактор

Основні вузли ЦМХЕ наступні: 1 – екстрагент; 2 – ємність для об'єму екстрагента; 3 – підвідний патрубок; 4 – відвідний патрубок; 5 – підвідний насос; 6 – насос для відкачування; 7 – кришка реактора; 8 – реакційна камера з сировиною; 9 – сировина; 10 – пульт керування; 11 – магнетрон; 12 – корпус апарату; 13 – тefлонова підставка з перфоруванням; 14 – фільтр; 15 – мікрохвильова камера.

Таблиця 1

Параметри процесу екстрагування

№ дослід-ду	Екстрактор	Маса деревини, г	Екстрагент	Маса екстрагенту, г	Вид деревини	Температура процесу, °C	Потужність, Вт	Тривалість, хв
1	ПМХЕ	140	вода	700	оброблена	до 50	255	50
2	ЦМХЕ	140	вода	700	оброблена	до 50	255	50
3	ПМХЕ	140	етиловий спирт 62%	420	оброблена	до 60	255	16
4	ЦМХЕ	180	етиловий спирт 62%	540	оброблена	до 50	255	16
5	ЦМХЕ	180	етиловий спирт 62%	540	необроблена	до 55	255	20
6	ЦМХЕ	180	етиловий спирт 62%	540	оброблена	до 55	255	20
7	ЦМХЕ	180	етиловий спирт 72%	540	оброблена	до 55	255	20
8	ЦМХЕ	180	етиловий спирт 72%	900	оброблена	до 55	255	20

Результати експериментальних досліджень та їх обговорення. В ході проведення експериментальних досліджень з екстрагування деревини дубу були отримані наступні дані: термограми процесів екстрагування (рис. 3), питома концентрація сухих речовин (рис. 4) та питомі витрати сухих речовин (рис. 5). Термограма процесів екстрагування усіх експериментів представлена на рис.3.

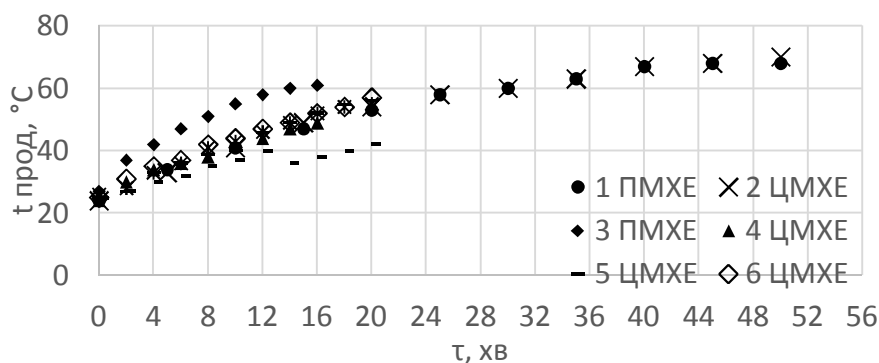


Рис. 3 – Порівняння термограм

Аналіз даних рис.3 показав, що найнижча температура спостерігається у ЦМХЕ. Ймовірно, це пов'язано з тим, що мікрохвильове випромінювання впливає безпосередньо на продукт та вологу в ньому, а не на сам об'єм екстрагенту. Можна сказати, що в таких конструкція ефективність використання енергії вища, і тому, є вища вірогідність організації ефекту механодифузії. Наступним етапом є аналіз питомих концентрацій сухих речовин (рис.4) та питомих витрат сухих речовин (рис.5).

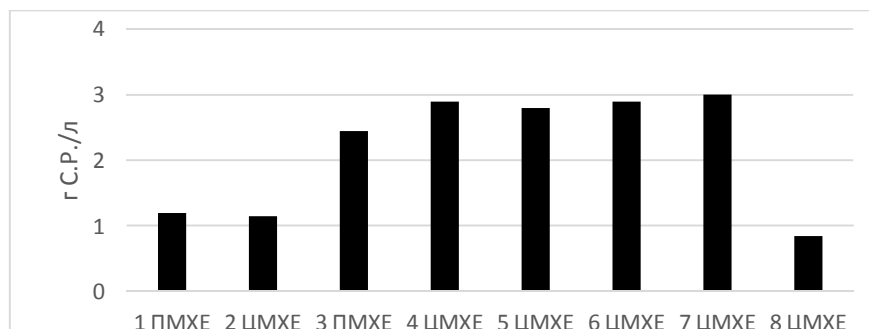


Рис. 4 – Питомі показники концентрації сухих речовин

З аналізу даних рис.4 можна зробити декілька висновків. По-перше екстрагування водно-спиртовим розчином ефективніше у більше ніж 2 рази у порівнянні із водою. Хоча слід відмітити, що отримані зразки водних екстрактів теж мали приємний аромат дубу, але не такий насичений, світло-коричневий колір, як

колір слабо завареного чаю. По-друге, підтверджується попередні висновки, щодо ефективності використання циркуляційного екстрактора та більш концентрованих водно-спиртових розчинів разом з термообробленою деревиною.

Для порівняння конструкцій апаратів із МХ генераторами, процеси, які відрізнялись потужністю магнетронів, гідромодулем, масою твердої фази, необхідно запропонувати такий загальний питомий показник, який дозволяв би визначати їхню ефективність. За такий показник було запропоновано прийняти відношення маси вилучених цільових компонентів із твердої фази до одиниці розчину за одиницю часу (рис.5).

З аналізу даних рис.5 можна зробити деякі висновки щодо показників ефективності МХ екстракторів. Циркуляційний МХ екстрактор у досліді 7 ЦМХЕ показав найкращі результати серед усіх дослідів, беручи до уваги те, що такі параметри процесів, як гідромодуль та потужність магнетрону були однакові, температура знаходилася в межах 50-60°C. Отримані на циркуляційних апаратах екстракти характеризуються темно-коричневим кольором, схожим на колір міцно завареного чорного чаю та ярко вираженим, характерним ароматом дубової деревини.

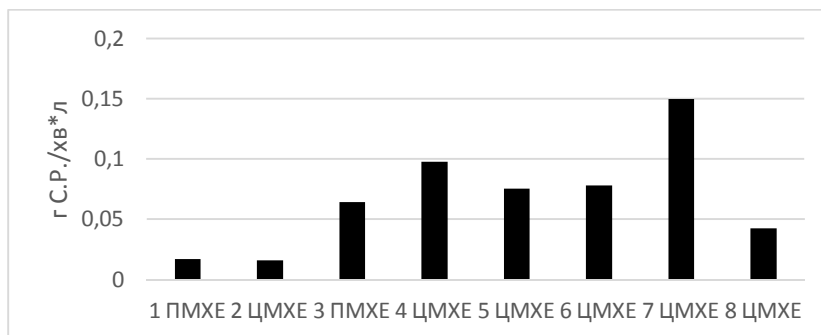


Рис. 5 – Питомі показники витрат сухих речовин

Висновки. В результаті комплексних експериментальних досліджень була доведена доцільність та ефективність використання циркуляційного екстрактора на основі мікрохвильового випромінювання. Описано доведено наявність такого ефекту, як механодифузія завдяки таким показникам як питома концентрація та питомі витрати С.Р. Підтверджено, що кращий ефект механодифузії спостерігається у ЦМХЕ, де мікрохвильове випромінювання впливає безпосередньо на полярні молекули розчинника, які проникли в середину деревини, при використанні більш концентрованого водно-спиртового розчину. Доведена можливість отримання поліекстрактів при використанні лише одного розчинника із полярними молекулами та в умовах мікрохвильового випромінювання. Доведено, що при попередній термічній обробці деревини дубу, виділяється більше цільових компонентів завдяки руйнуванню структури деревини на трансформації компонентів всередині. Вихід цільових компонентів у циркуляційному мікрохвильовому екстракторі при використанні в якості екстрагенту водно-спиртового розчину в 2 рази вищий, ніж при екстрагуванні водою. При дотриманні вищезазначених параметрів гарантується висока якість рідких екстрактів та існує можливість отримання поліекстрактів.

В технологіях переробки рослинної сировини МХ екстрактори мають перспективи для їхнього використання для отримання рідких лікарських екстрактів. МХ екстрактори можуть прискорювати та спростити процеси виробництва продуктів для виноробної, фармацевтичної, косметичної та інших галузей, здатні вирішувати проблемні питання у цих галузях. Серед конструкцій наразі вважається привабливими конструкції плівкових та циркуляційних екстракторів. Такі екстрактори мають вагомі переваги перед традиційними методами екстрагування, вони дозволяють отримати якісні рідкі екстракти з дубової деревини, дозволяють вилучити більше цільових компонентів за менший час, завдяки ефекту механодифузії можуть дати можливість отримувати поліекстракти. Тому, такі апарати безсумнівно мають перспективи промислового впровадження.

References

1. Maznev N. I. (2008). *Zolotaya kniga lekarstvennykh rasteniy* OOO Izdatel'stvo «DOM. XXI vek». (in Russian)
2. Tovstukha Ye. S. (1990). *Fitoterapiya*. K.: Zdorov'ya.
3. Chuyeshov V.I., Gladukh Ye.V., Sayko O.A., et. al. (2014). *Tekhnologiya lekarstv promyshlennogo proizvodstva* : Vinnitsa : Nova Kniga (in Ukrainian).
4. Tikhonov A. I., Yarnykh T. G. (2002). *Tekhnologiya lekarstv*. Kh.: Izd-vo NFAU (in Ukrainian).
5. Skurikhin I.M. *Khimiya kon'yaka i brendi*. M.: DeLi print, 2005. — 296 p.
6. Martynenko E.Ya. (2003). *Tekhnologiya Kon'yaka*. Simferopol', «Tavrida».
7. Gerasimov M.A. (1959). *Tekhnologiya vina*. — M.: Kartonazhnaya fabrika,. — 642 p.
8. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. (1999). *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* SPb.: SPbLTA.

9. Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. (1978). *Khimiya drevesiny i tsellyulozy*. M.: «Lesnaya promyshlennost».
10. Poperechnyi, A. M. (2014). *Protsesy i aparaty kharchovykh vyrobnytstv* (O. V. Bohomolova, & V. I. Maiak (eds.); 2-e vydann). Svit Knyh..
11. Kalla, A. M., & Devaraju, R. (2017). Microwave energy and its application in food industry : A reveiw Microwave energy and its application in food industry : A reveiw. *Journal of Dairying, Foods & Home Sciences*. <https://doi.org/10.18805/ajdf.v0iOF.7303>
12. Burdo, O. G., Syrotyuk, I. V., Alhury, U., et al. (2018). Microwave Energy as an Intensification Factor in the Heat-Mass Transfer and the Polyextract Formation. *Problems of the Regional Energetics*, 36(1). 58–71. 10.5281 <https://doi.org/zenodo.1217259>

RESEARCH OF EXTRACTION PROCESS OF OAK WOOD IN ELECTRODYNAMIC APPARATUSES

**Akimov O.V., postgraduate student, Mordynskiy V.P., PhD in Tech. Sci., associate prof.,
Odesa national university of technology, Odesa**

Abstract. The article begins with a promising method of obtaining liquid extracts using electromagnetic radiation. The main advantages over traditional method of extraction are highlighted. Usage of oak wood in industry is listed briefly. The article also defines the main medical properties of oak wood components, promising usage of liquid oak wood extracts in winemaking industry is provided. The trend in extraction technologies has been determined which consists in the transition to intensive and promising methods, and their main principles are also indicated. The main factors determining the transition to new extraction methods have been identified. The article identifies the main problems of the production of cognacs during aging, which affect the price of the final product. The authors indicated the key components of oak wood, which form a taste and aroma in cognacs and brandy. The scientific and technical contradictions of the extraction and aging processes were formulated, and a hypothesis for their solution was proposed. The experimental stands on which the research was conducted are presented. All parameters at which the experiments were performed are specified. The thermograms of the processes are presented and it is determined that the lowest temperature is observed in the circulating MW extractor. From the analysis of the data on the concentration of dry matter, it was determined that the best indicators belong to the circulating MW extractor, where a water-alcohol solution with a higher concentration of alcohol was used as the extractant. The data on the rate of extraction of dry matter confirm the high efficiency of the circulating extractor. The data analysis also confirms that better effect of mechanodiffusion was detected in the circulating MW extractor. Conclusions have been made regarding the possibility of introducing such devices into production.

Key words: electromagnetic field, extraction, kinetics, oak wood, medicinal plants.

Список використаної літератури

1. Мазнев Н. І. Золота книга лікарських рослин / Н. І. Мазнев. - 15-те вид., Дод. - М.: ТОВ «ІД РІПОЛ Класік», ТОВ Видавництво «ДІМ. ХХІ століття», 2008. - 621 с.
2. Товстуха Є. С. Фітотерапія / Є. С. Товстуха. — К.: Здоров'я, 1990. — 304 с.
3. Чуешов В.І., Гладух Є.В., Сайко О.А., та ін. Технологія ліків промислового виробництва: підручник для студ. вищ. навч. закл. : в 2 вид., Вінниця : Нова Книга, 2014. - 696 с.
4. Тіхонов А. І., Ярних Т. Г. Технологія ліків: Навч.підру., для фармац. вузів та фак.: - Х.: Вид-во НФАУ; Золоті сторінки, 2002. - 704 с.
5. Скуріхін І.М. Хімія коньяку та бренді. - М.: Делі принт, 2005. - 296 с.
6. Мартиненко Е.Я. Технологія коньяку. - Сімферополь, "Таврида", 2003. - 320 с.
7. Герасімов М.А. Технологія вина. - М.: Картонна фабрика, 1959. - 642 с.
8. Азаров В.І., Буров А.В., Оболенська А.В. Хімія деревини та синтетичних полімерів: Підручник для вузів. СПб.: СПбЛТА, 1999. - 628 с.
9. Нікітін В.М., Оболенська А.В., Щеголев В.П. Хімія деревини та целюлози. Навчальний посібник. М.: «Лісова промисловість» 1978. - 368с
10. Поперечний, А. М. Процеси і апарати харчових виробництв: / за ред., О. В. Богомолова, В. І. Маяк. Харків: Світ Книг, 2014. 495с.
11. Kalla, A. M., Devaraju, R. Microwave energy and its application in food industry : Journal of dairying, foods & home sciences. 2017
12. Burdo, O. G., Syrotyuk, I. V., Alhury, U., та ін. Microwave Energy as an Intensification Factor in the Heat-Mass Transfer and the Polyextract Formation. *Problems of the Regional Energetics*. 2018. Vol. 36, No. 1. C. 58–71.

Отримано в редакцію 21.05.2022

Прийнято до друку 21.09.2022

Received 21.05.2022

Approved 21.09.2022