

СУБКРИТИЧНА ВОДА ЯК ЕКСТРАГЕНТ У ПРОЦЕСАХ ЕКСТРАГУВАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

В.О. Сукманов, Ю.М. Петрова, В.Б. Захаревич, А.І. Маринін

Проаналізовано властивості субкритичної води і характер її впливу на цільові компоненти і БАР, що екстрагуються з рослинної сировини. Показано, що використання субкритичної води в процесах екстрагування є найбільш обґрунтованим, що дозволить істотно підвищити ефективність самого процесу і забезпечить високі споживчі властивості одержаних продуктів.

***Ключові слова:** субкритична вода, екстрагування, біологічно активні речовини.*

СУБКРИТИЧЕСКАЯ ВОДА КАК ЭКСТРАГЕНТ В ПРОЦЕССАХ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В.О. Сукманов, Ю.М. Петрова, В.Б. Захаревич, А.И. Маринин

Проанализированы свойства субкритической воды и характер ее влияния на целевые компоненты и БАВ, экстрагируемые из растительного сырья. Показано, что использование субкритической воды в процессах экстрагирования является наиболее обоснованным, что позволит существенно повысить эффективность самого процесса и обеспечит высокие потребительские качества полученных продуктов.

***Ключевые слова:** субкритическая вода, экстрагирование, биологически активные вещества.*

SUBCRITICAL WATER AS EXTRACTANT IN THE PROCESS OF EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM PLANT MATERIAL

V. Sukmanov, Y. Petrov, V. Zaharevich, A. Marinin

The analysis of properties of subcritical water (SCW) and nature of its influence on the target components and biologically active agents extracted from vegetable raw materials is made. The mechanism of influence of a deviation of

change of temperature and pressure near a critical point upon changes of dielectric permeability, viscosity, thermal capacity, coefficient of diffusion and density of water is described. It is shown that water in these conditions behaves like polar organic solvent, and the main advantages of SCW as solvent: a combination of properties of gases with high pressures (low viscosity, high coefficient of diffusion) and liquids (the high dissolving ability); the combination of a negligible interphase tension to low viscosity and high coefficient of diffusion allowing hard currency to get on porous medium more easily in comparison with liquids; high sensitivity of the dissolving ability of SCW to change of pressure or temperature; simplicity of division of SCW and the substances dissolved in them when dumping pressure, are connected with its microstructure and features of the processes happening at the molecular level. Dependence of the dissolving ability of SCW on state parameters in many respects is caused by special character and dynamics of hydrogen communications. It is shown that use of SCW in processes of extraction is the most reasonable, will allow to increase significantly efficiency of process and will provide high consumer qualities of the taken products.

Keywords: *subcritical water, extraction, biologically active agents.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Зростаючі вимоги суспільства до отримання екологічно чистих продуктів харчування та сучасний стан науки й техніки призвели до формування й розвитку принципово нових технологій обробки харчових продуктів, провідне місце серед яких займають флюїдні технології, які застосовуються для екстракції різноманітними флюїдними розчинниками корисних компонентів із природної сировини; для очищення харчових продуктів від холестерину, пестицидів та інших шкідливих і небажаних компонентів; для синтезу відомих і нових органічних речовин, отримання твердих харчових продуктів різної дисперсності від великих монокристалів до нанопорошків і тонких плівок; переробка та знищення високотоксичних речовин і відходів. Крім екологічної чистоти одержуваних продуктів актуальним залишається питання про екологічну безпеку самого процесу виробництва [1–6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні питанням використання флюїдних технологій у харчовій і фармацевтичній промисловостях, зокрема під час екстрагування різних цільових компонентів із рослинної сировини, присвячені сотні досліджень [6–10].

При цьому в якості екстрагентів використовують розчинники з низькою температурою кипіння, – зріджені гази: вуглекислий газ, гексан, пропан, аміак, метан, етилен і деякі інші сполуки з невисокими критичними температурами [11].

Найбільшого поширення набула CO_2 -екстракція [12; 13]. Однак вуглекислий газ є одним із основних парникових газів, як і метан, озон, оксиди азоту. Крім того, деякі флюїдні речовини, наприклад, метан, є токсичними та діють на центральну нервову систему, за вмісту в повітрі 25–30% метану з'являються перші ознаки асфіксії [14]. Деякі з них, такі як етилен, пропан та ін., мають наркотичну дію. Клас небезпеки – четвертий [15].

У деяких публікаціях розглядається можливість використання як екстрагента субкритичної води (СКВ), проте до теперішнього часу відсутнє обґрунтування перспективності та доцільності використання в процесах екстрагування СКВ [16–21].

Мета статті – проаналізувати властивості СКВ, які проявляються в процесах екстрагування, й обґрунтувати перспективність використання СКВ як екстрагента в процесах екстрагування біологічно активних речовин із рослинної сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільш сучасним ефективним методом екстракції є суб- і надкритична флюїдна екстракція [7; 8].

Надкритичні умови – це фізичний стан речовини вище критичної точки, в якій дві фази, рідка і газова, стають невиразні. Речовина має як притаманну газам високу рухливість молекул [22; 23], так і багато сольватаційних властивостей рідини.

Ефективність використання СКВ для екстракції біологічно активних сполук обґрунтовується наступними обставинами [7; 24].

Принципова відмінність процесу екстрагування суб- і надкритичною водою від існуючих в наш час надкритичної флюїдної CO_2 -екстракції, екстракції зрідженими газами – це використання властивостей води як медіума для розчинення-екстракції органічної речовини, яка знаходиться в рослинному матеріалі з одного боку, і, що дуже важливо, використання води одночасно як реагенту в хімічній реакції, що відбувається в середовищі, хімічні властивості якого управляються температурою, тиском і катализаторами.

Відхилення температури й тиску поблизу критичної точки змінює всі фізико-хімічні характеристики води: діелектричну проникність, в'язкість, теплоємність, коефіцієнт дифузії і щільність. Вода в цих умовах веде себе подібно полярному органічному розчиннику.

Основними перевагами суб- і надкритичної води як розчинника є: поєднання властивостей газів за високого тиску (низька в'язкість, високий коефіцієнт дифузії) і рідин (висока розчинна здатність); поєднання знехтуваного малого міжфазного натягу з низькою

в'язкістю й високим коефіцієнтом дифузії, що дозволяє суб- і надкритичній воді проникати в пористі середовища більш легко в порівнянні з рідинами; висока чутливість розчинюючої здібності суб- і надкритичної води до зміни тиску або температури; простота поділу субкритичної води й розчинених у ній речовин у разі скидання тиску.

Надзвичайні властивості й можливості використання СКВ як розчинника (реагенту, каталізатора) пов'язані з її мікроструктурою та особливостями процесів, що відбуваються на молекулярному рівні. Залежність розчинюючої здібності СКВ від параметрів стану багато в чому обумовлена особливим характером і динамікою водневих зв'язків (ВЗ) [25; 26]. Водневі зв'язки багато в чому визначаються поведінкою води і є головною причиною істотної її відмінності від інших рідин. Природа цих сильних анізотропних міжмолекулярних взаємодій сприяє прояву специфічних термодинамічних і структурних властивостей води, а також динамічної поведінки, унікальної у порівнянні з іншими речовинами. Властивості рідкої води, якими зумовлені такі важливі процеси, як розчинення різних речовин і транспортування протонів, є результатом руху молекул у постійно мінливій структурі сітки ВЗ [27]. Властивості води за високих температур і тиску зумовлені значними відмінностями її термохімічних і структурних властивостей у суб- і надкритичному станах у порівнянні зі звичайними умовами. Висока стисливість, що призводить до суттєвих змін щільності за незначної зміни тиску, і значне зменшення діелектричної константи від 80, за нормальних умов, до 6 за надкритичних умов, дозволяє неполярним речовинам розчинятися в СК-воді [28]. Тому вода в суб- і надкритичному станах може використовуватися як хороший розчинник у хімічних процесах.

Вода є нетоксичною, негорючою і недорогою речовиною, має полегшений поділ із цільовими продуктами після завершення процесу. Використання СКВ замість органічних розчинників підвищує екологічну безпеку виробництв, а також ступінь чистоти одержуваних продуктів.

Інтерес представляє підхід до опису будови рідкої, суб- і надкритичної води, заснований на концепції енергетично бажаних варіацій ближнього оточення [29]. Висунута гіпотеза пояснює перехід рідкої води в надкритичний стан особливим становищем критичної ізотерми на фазовій діаграмі речовини. Критична ізотерма є кордоном існування нескінченного кластера пов'язаних молекул, тобто, у разі перетину зони, що примикає до критичної ізотерми, система переходить через перколяційний поріг [30].

Надкритичний стан речовини – це особливий стан, до якого за високого тиску поняття «рідкоподібне» мало підходить. У фізичному сенсі це, скоріше, мікрогетерогенна суміш газоподібних і рідкоподібних конфігурацій молекул, що швидко змінюють одна одну.

Слід зазначити, що через високі параметри критичної точки вода у надкритичному стані поки не має широкого практичного застосування. Використання води в надкритичному стані для екстрагування біологічно активних речовин із рослинної сировини недоцільно, враховуючі наступні обставини: використання відносно високих температур призводить до руйнування ферментно-вітамінного комплексу в одержуваному екстракті; використання високих температур і тисків вимагає використання дорогого технологічного обладнання та супроводжується відносно високими експлуатаційними витратами.

В останнє десятиліття для екстракції та хімічної модифікації біологічно активних сполук все ширше використовується СКВ (перегріта вода під тиском за температур від 100 до 374° С) [16–21].

СКВ є високоефективним і екологічно чистим інструментом екстракції за рахунок зміни її фізико-хімічних властивостей (діелектричної проникливості, іонного добутку, дифузійних властивостей і щільності) за умови збільшення тиску і температури [30].

Універсальність води як розчинника пов'язана з тим, що за нормального тиску і температури вода – полярний розчинник, а в суб-і надкритичній воді розчиняються майже всі органічні речовини [7; 24; 31]. Розчинність неорганічних речовин також змінюється.

Термодинамічні властивості води (за температури навколишнього середовища і в субкритичних умовах) пов'язані з міцністю зчеплення водню і структурою водневих зв'язків [32–34].

Модель молекули води, запропонована Нільсом Бором ($^1\text{H}_2\text{ }^{16}\text{O}$) складається з двох атомів водню (^1H) і одного атома кисню (^{16}O) [7]. Майже все різноманіття властивостей води і незвичність їх прояву визначається, в кінцевому рахунку, фізичною природою цих атомів, способом їх об'єднання в молекулу і угрупованням молекул, що утворилися.

Відповідно до електронної будови атомів водню і кисню молекула води розташовується п'ятьма електронними парами. Вони утворюють електронну хмару. Хмара неоднорідна – в ній можна розрізнити окремі згущення і розрідження. У кисневого ядра створюється надлишок електронної густини. Внутрішня електронна пара кисню рівномірно обрамляє ядро, схематично вона подана як окружність з центром – ядром O^{2-} .

Чотири зовнішніх електрона групуються у дві електронні пари, які тяжіють до ядра, але частково не скомпенсовані. Схематично сумарні електронні орбіталі цих пар мають вигляд еліпсів, витягнутих від загального центру – ядра O^{2-} . Кожний з решти двох електронів кисню утворює пару з одним електроном водню. Ці пари також тяжіють до кисневого ядра. Тому водневі ядра – протони – виявляються трохи оголеними, і спостерігається нестача електронної густини.

Таким чином, молекулі води розрізняють чотири полюси зарядів: два негативних (надлишок електронної густини в області кисневого ядра) і два позитивних (нестача електронної густини у двох водневих ядер).

Майже куляста молекула води має помітно виражену полярність, тому що електричні заряди в ній розташовані асиметрично. Кожна молекула води є мініатюрним диполем із високим дипольним моментом. Дипольний момент – важлива молекулярна константа, що характеризує електричну симетрію молекули. В цьому разі дипольний момент зв'язку визначають двома позитивними зарядами ядер атомів, що утворюють зв'язок, і розподілом негативного (електронного) заряду. Дипольний момент хімічного зв'язку обумовлений зміщенням електронної хмари в бік одного з атомів [35].

Під впливом диполів води у 80 разів слабшають міжатомні чи міжмолекулярні сили на поверхні зануреної в неї речовини, і отже, вода має високу діелектричну проникність, найвищу з усіх відомих сполук.

Полярність молекул води, наявність в них частково нескомпенсованих електричних зарядів породжує схильність до групування молекул у укрупнені «співтовариства» – асоціати.

Повністю відповідає формулі H_2O лише вода, що знаходиться в пароподібному стані. Це показали результати визначення молекулярної маси водяної пари. У температурному інтервалі від 0 до $100^\circ C$ концентрація окремих (мономерних молекул) рідкої води не перевищує 1%. Всі інші молекули води об'єднані в асоціати різного ступеня складності, і їх склад описується загальною формулою (H_2O).

Безпосередньою причиною утворення асоціатів є водневі зв'язки. Вони виникають між ядрами водню одних молекул та електронними «згущеннями» у ядер кисню інших молекул води. Ці зв'язки в десятки разів слабкіші, ніж «стандартні» внутрімолекулярні хімічні зв'язки, й достатньо звичайних рухів молекул, щоб зруйнувати їх. Але під впливом теплових коливань так же легко виникають і нові зв'язки цього типу.

Оскільки електронні орбіталі в кожній молекулі води утворюють тетраедричну структуру, водневі зв'язки можуть упорядкувати розташування молекул води у вигляді тетраедричних координованих асоціатів. Можливі й інші моделі водяної структури. Тетраедрично пов'язані молекули води утворюють своєрідні рої досить стабільного складу. Простір між роями заповнюють мономерні молекули води.

Певна частина молекул води асоційована не в тривимірні каркаси, а в лінійні кільцеві об'єднання. Кільця, групуючись, утворюють ще складніші комплекси асоціатів [36].

Багато в чому завдяки цьому вода проявляє себе як універсальний розчинник. Її розчинювальній дії в тій чи іншій мірі підвладні і тверді тіла, і рідини, і гази.

Із метою вибірково вилучення великої кількості гідрофобних органічних сполук (ГОС) з рослин, ґрунту і продуктів харчування була використана можливість налаштування діелектричної проникності води, щоб імітувати розчиняючу здатність органічних розчинників для неполярних сполук. Після досягнення низької полярності за підвищених температура СКВ дозволяє проводити безпечну ефективну екстракцію високої продуктивності по ряду ГОС. Вихід екстрактів у середовищі СКВ зіставимий з методами, які використовують органічні розчинники. Однак існує перевага використання СКВ як розчинник для екстракції в порівнянні зі звичайними екстракційними розчинниками.

Ці розчинники часто є токсичними. Крім того, часто потрібне повне видалення органічного розчинника в тих випадках, коли екстракт надходить у організм у вигляді їжі або фармацевтичного препарату. Видалення розчинника є дорогим і енергозатратним.

За температури 295 К і тиску 0,1М Па вода є полярним розчинником зі щільністю $1000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, діелектричною проникністю $\varepsilon = 79.73$ і іонним добутком $K_w = 10^{-14}$ [37]. Підвищення температури й тиску призводить до істотної зміни властивостей води й водних розчинів. Зміни термодинамічних параметрів відображають фазові діаграми води й відповідних багатокомпонентних систем. Властивості води як розчинника змінюються внаслідок зміни її діелектричної проникності, електропровідності, іонного тиску, структури водневих зв'язків. Зміна в'язкості, теплоємності, коефіцієнтів дифузії й щільності впливає на транспортні характеристики водних розчинів.

Слід зазначити, що фізико-хімічні властивості води не змінюються стрибкоподібно у разі досягнення критичної точки, їх зміна має безперервний характер. Вода в надкритичному стані за

своїми характеристиками займає проміжне положення між рідиною й газом. Представляє інтерес розгляд таких властивостей СКВ як щільність, діелектрична проникність і іонний добуток, водневі зв'язки і розчинність сполук у СКВ.

Щільність. У докритичній області підвищених температур і тисків вода може існувати в рідкому і газоподібному станах. За постійної температури щільність води змінюється безперервно в межах існування кожної з цих фаз, і тільки на межі розділу фаз спостерігається стрибок щільності. У критичній точці межа розділу між рідкою і газовою фазами зникає, а щільність води стає рівною $\sim 300 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Однак поблизу цієї точки вода має необмежену стисливість, тому, варіюючи (навіть незначно) температуру й тиск у цій області, можна змінювати щільність води в дуже широких межах.

Так, за тиску 22 МПа підвищення температури всього на 6 К призводить до зниження щільності води в два рази [38].

Щільність $1000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ також досяжна для надкритичного стану води, однак для цього необхідно за температури 673 К докласти тиск 750 МПа [39].

Зазвичай під час проведення хімічних реакцій у водних розчинах в суб- і надкритичній воді слід контролювати як концентрації реагентів, температуру й тиск, так і щільність середовища, оскільки її незначна зміна може суттєво вплинути на константи швидкості і розподіл продуктів реакції [40; 41]. Відбувається це тому, що такі характеристики води, як діелектрична проникність, іонний добуток, в'язкість і теплопровідність, змінюються симбатно зі зміною щільності. Контрольована зміна щільності води в суб- і надкритичній областях дозволяє варіювати властивості води як розчинника і управляти фізико-хімічними процесами, що в них протікають.

Діелектрична проникність і іонний добуток. Температурна залежність іонного добутку води за постійного тиску має екстремальний характер (рис. 1).

У субкритичній області константа іонізації H_2O досягає максимального значення, яке на три порядки вище, ніж за звичайних умов. Отже, вода в субкритичному стані є потужним джерелом іонів H^+ і OH^- [42].

Інакше кажучи, вода в цій області може служити не тільки полярним розчинником, а й кислотно-основним каталізатором, що самонейтралізується, а це відкриває широкі перспективи для проведення в субкритичній області різних каталітичних реакцій і гідролізу. У випадку наближення до критичної точки K_W різко падає і потім продовжує монотонно зменшуватися в надкритичній області.

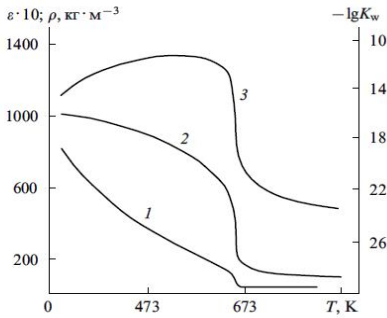


Рис. 1. Температурні залежності діелектричної проникності (1), щільності (2) та юнного добутку (3) за тиску 24 МПа [40]

Водневі зв'язки. У звичайних умовах всі молекули води пов'язані між собою водневими зв'язками. Цим обумовлені багато її фізико-хімічних властивостей.

За кімнатної температури й атмосферному тиску агрегати $(\text{H}_2\text{O})_{i+1}$ можуть містити до 100 молекул [44]. Створення водневих зв'язків – екзотермічний процес, тому константа рівноваги K зменшується з підвищенням температури [40]. Поблизу критичної точки структура води зазнає істотних змін: нескінченна сітка водневих зв'язків руйнується, і вода існує у вигляді окремих кластерів, що мають ланцюгову структуру [45]. Усередині таких кластерів за температур вище критичної молекули як і раніше залишаються пов'язаними між собою водневими зв'язками. За 673 К і щільності води $850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ руйнується до 50% водневих зв'язків [46]. Використовуючи комп'ютерне моделювання, вчені довели, що кількість молекул H_2O в кластерах сильно залежить від щільності надкритичного флюїду. Так, в області низької щільності ($T = 673 \text{ K}$, $\rho = 167 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) кластери містять до 10 молекул, а за підвищення щільності ($T = 772 \text{ K}$, $\rho = 528 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) кількість молекул у деяких кластерах може перевищувати 20. За високої щільності надкритичної води ($T = 680\text{-}771 \text{ K}$, $\rho = 972\text{-}1284 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) всі молекули знову виявляються пов'язаними водневими зв'язками, але існують окремі кластери з кількістю молекул до 15, які тимчасово перебувають поза загальною нескінченною структурою [45].

Діелектрична проникність води із зростанням температури за постійного тиску безперервно зменшується. За $T = 573 \text{ K}$ і щільності $700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ діелектрична проникність H_2O зменшується в ~ 4 рази до значення, характерного для ацетона. У надкритичній області воду можна розглядати як неполярний «органічний» розчинник, оскільки її діелектрична проникність близька до 6 [43].

Саме руйнуванням водневих зв'язків в разі переходу до критичної точки обумовлено зменшення діелектричної проникності води, зміна її динамічної в'язкості і збільшення коефіцієнта самодифузії [47]. Дійсно, щоб молекула в рідині могла переміщатися, вона повинна мати деякий вільний простір навколо себе і бути «частково вільною» від взаємодій із сусідами. Не зв'язані водневими зв'язками молекули володіють більшою свободою переміщення, що й обумовлює збільшення коефіцієнта самодифузії води.

Розчинність сполук у суб- і надкритичній воді. Розчинність неорганічних і органічних сполук в суб- і надкритичній воді визначається діелектричною проникністю середовища. Зменшення діелектричної проникності під час переходу до критичної точки призводить до підвищення розчинності органічних речовин і зменшення розчинності неорганічних іонних сполук. У надкритичному стані вода необмежено змішується з киснем, воднем і вуглеводнями. У загальному випадку розчинність речовин у воді зростає (за її постійною щільності) з підвищенням температури, а за постійної температури – зі збільшенням тиску. Оскільки незначне варіювання параметрів стану поблизу критичної точки призводить до істотної зміни всіх фізико-хімічних характеристик води, навіть за невеликої зміни тиску і температури може відбуватися повне розчинення або, навпаки, осадження з розчину оксидів і солей [48; 49].

У надкритичному стані спостерігається ефект кластерування молекул H_2O навколо молекул розчиненої речовини, що призводить до локальних флуктуацій щільності. У разі додавання речовини в систему її щільність поблизу критичної точки іноді може зростати настільки, що молярний обсяг розчиненої речовини зменшується на 1–2 порядки [50].

Зниження діелектричної проникності води за підвищених температури і тиску призводить до істотної зміни структури розчинів електролітів: молекули води в суб- і надкритичній областях вже не можуть ефективно екранувати іони, тому відбувається перебудова гідратних оболонок і утворення іонних пар [51–53]. Із використанням методу спектроскопії комбінаційного розсіювання показано, що поблизу критичної точки внаслідок заміщення молекул води в гідратних оболонках іонів катіон-аніонні взаємодії істотно посилюються, і число іонних пар, в яких катіони безпосередньо пов'язані з аніонами, зростає.

Зі зменшенням кількості молекул води в оточенні будь-якого іона дифузія останнього зазвичай полегшується [54]. Однак, розглядаючи електропровідність розчинів електролітів у надкритичній області, необхідно враховувати два конкуруючих фактора – кількість молекул води в гідратній оболонці іона і силу взаємодії іона з цими

молекулами. За високої щільності надкритичної води домінує перший фактор, а за низької – другий. У зв'язку з цим на кривих електропровідності розчинів електролітів можуть з'являтися екстремуми [54].

Для управління теплофізичними і термодинамічними властивостями води і водяної пари використані основні рівняння Міжнародної системи рівнянь 1997, призначеної для промислових розрахунків [55] (Формуляція IF – 97). Використані наступні основні контакти – критичні параметри: абсолютна температура $T_{cp} = 647,096 \text{ K}$; тиск $P_{KP} = 22,064 \text{ МПа}$; щільність $\rho_{cp} = 322 \text{ кг/м}^3$.

Щоб охарактеризувати властивості води, використаний набір рівнянь для різних областей, які в сукупності охоплюють область параметрів [55]:

$$273.15 \leq T \leq 1073.15 \text{ K при } p \leq 100 \text{ МПа};$$

$$107315 \leq T \leq 227315 \text{ K при } p \leq 100 \text{ МПа}$$

Розташування цих областей в p, T -діаграмі показано на рис. 2. Области 1, 2, 5 описані фундаментальними рівняннями для енергії Гіббса $g(p, T)$, область 3 – фундаментальним рівнянням для енергії Гельмгольца $f(p, T)$, а лінія насичення подана рівнянням $p_s(N)$.

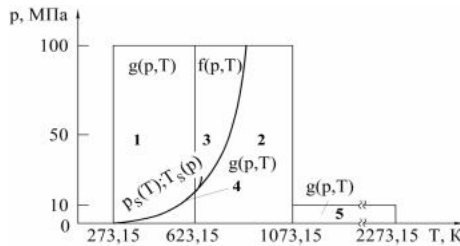


Рис. 2. Области рівнянь Формуляції IF – 97

У зв'язку з тим, що субкритичний стан води, що використовується для екстрагування, описується основними рівняннями для рідини, що знаходиться в області 1 (рис. 2), проаналізуємо зазначені рівняння.

У цій області основним буде рівняння для питомої енергії Гіббса:

$$\frac{g(p, T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \sum_{i=1}^{34} n_i (7.1 - \pi)^{I_i} (\tau - 1.222)^{J_i}, \quad (3)$$

де $\pi = p/p^*$; $\tau = T^*/T$; $p^* = 16,53 \text{ МПа}$; $T = 1386 \text{ K}$.

Значення коефіцієнтів і показників ступеня для цього рівняння наведені у відповідних таблицях [55]. Коефіцієнти n_3 і n_4 в рівнянні (3) підбиралися таким чином, щоб відповідати чинній з 1954 р. угоді про прийняття в потрібній точці рівними нулю значень питомих внутрішньої енергії і ентропії рідини [55]:

$$u'_{mp} = 0; s'_{mp} = 0. \quad (4)$$

Значення ентальпії рідини в потрібній точці становить $h'_{TP} = 0,611783 \text{ Дж/кг}$.

Всі термодинамічні властивості води можуть бути отримані з рівняння (3) за допомогою диференціальних рівнянь термодинаміки. Співвідношення, що зв'язують найбільш важливі з них, наведені в таблиці. Основні рівняння для перегрітої пари (область 2) околоритичної області (область 3), рівняння лінії насичення (область 4), основні рівняння для області високих температур (область 5), узгодження значень термодинамічних величин на кордонах областей та оцінка похибок термодинамічних величин наведені в [55–57].

Для опису аномальної поведінки динамічної в'язкості μ використано міжнародне рівняння [58]:

$$\bar{\mu} = \mu / \mu^* = \bar{\mu}_0(\tau) \bar{\mu}_1(\tau, \delta) \bar{\mu}_2(\tau, \delta), \quad (15)$$

де $\mu^* = 55,071 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\tau = T / T^*$; T – абсолютна температура, К; $T^* = 647,226 \text{ К}$; $\delta = \rho / \rho^*$; ρ – щільність, кг/м^3 ; $\bar{\mu}_0 = \mu_0 / \mu^*$; μ_0 – динамічна в'язкість водяної пари в межі нульової щільності:

$$\bar{\mu}_0(\tau) = \frac{\tau^{0,5}}{\sum_{i=0}^3 \frac{H_i}{\tau^i}}, \quad (16)$$

де $H_0 = 1,00000$; $H_1 = 0,978197$; $H_2 = 0,579829$; $H_3 = -0,202354$.

$$\bar{\mu}_1(\tau, \delta) = \exp \left[\delta \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^6 H_{ij} \left(\frac{1}{\tau} - 1 \right)^i (\delta - 1)^j \right]. \quad (17)$$

**Співвідношення для обчислення термодинамічних
властивостей за рівнянням (3)**

Властивості	Співвідношення
Питомий об'єм	$v\rho/RT = \pi\gamma_\pi$
Питома внутрішня енергія	$u/RT = \tau\gamma_\tau - \pi\gamma_\pi$
Питома ентропія	$s/R = \tau\gamma_\tau - \gamma$
Питома ентропія	$h/RT = \tau\gamma_\tau$
Питома ізобарна теплоємність	$c_p/R = -\tau^2\gamma_{\tau\tau}$
Питома ізобарна теплоємність	$c_v/R = -\tau^2\gamma_{\tau\tau} + (\gamma_\pi - \tau\gamma_{\pi\tau})^2/\gamma_{\pi\pi}$
Швидкість звуку	$w^2/RT = \frac{\gamma_\pi^2}{\frac{(\lambda_\pi - \tau\gamma_{\pi\tau})^2}{\tau^2\gamma_{\tau\tau} - \gamma_{\pi\pi}}}$
$\gamma_\pi = \left(\frac{\partial\gamma}{\partial\pi}\right)_\tau, \gamma_{\pi\pi} = \left(\frac{\partial^2\gamma}{\partial\pi^2}\right)_\tau, \gamma_\tau = \left(\frac{\partial\gamma}{\partial\tau}\right)_\pi, \gamma_{\tau\tau} = \left(\frac{\partial^2\gamma}{\partial\tau^2}\right)_\pi, \gamma_{\pi\tau} = \left(\frac{\partial^2\gamma}{\partial\pi\partial\tau}\right)$	

Складова $\bar{\mu}_2(\tau, \delta)$, яка передає аномальну поведінку динамічної в'язкості у вузькій області параметрів поблизу критичної точки, в технічних розрахунках, згідно [58], може бути прийнята рівною одиниці.

Область, в якій застосовано рівняння (15), визначається наступними параметрами:

$$p \leq 500 \text{ МПа для } 0 \leq t \leq 150^\circ \text{ C};$$

$$p \leq 350 \text{ МПа для } 150 \leq t \leq 600^\circ \text{ C};$$

$$p \leq 300 \text{ МПа для } 600 \leq t \leq 900^\circ \text{ C}.$$

Для опису теплопровідності води й водяної пари в промислових розрахунках рекомендовано рівняння [59], яке після приведення до нової Міжнародної температурної шкали 1990 р. має такий вигляд:

$$\lambda = \lambda_0(\tau) + \lambda_1(\delta) + \lambda_2(\tau, \delta), \quad (18)$$

де λ – теплопровідність, $Bm / (M \cdot K)$; $\tau = T / T^*$; T – абсолютна температура К; $T^* = 647,256K$; $\delta = \rho / \rho^*$; ρ – щільність, $кг/м^3$; $\rho^* = 317,7 кг/м^3$.

Теплопровідність водяної пари в ідеально газовому стані λ_0 визначається з рівняння

$$\lambda_0(\tau) = \tau^{0.5} \sum_{k=0}^3 a_k \tau^k, \quad (19)$$

для якого значення коефіцієнтів наведені в [55].

Функція $\lambda_1(\delta)$ має вигляд

$$\lambda_1(\delta) = b_0 + b_1 \delta + b_2 \exp\{B_1(\delta + B_2)^2\}, \quad (20)$$

де значення коефіцієнтів наведені в [55], а функція $\lambda_2(\tau, \delta)$ визначена як

$$\begin{aligned} \lambda_2(\tau, \delta) = & \left(\frac{d_1}{\tau^{10}} + d_2 \right) \delta^{9/5} \exp[C_1(1 - \delta^{14/5})] + d_3 S \delta^Q \times \\ & \times \exp\left[\left(\frac{Q}{1+Q} \right) (1 - \delta^{1+Q}) \right] + d_4 \exp\left(C_2 \tau^{3/2} + \frac{C_3}{\delta^5} \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Q і S є функціями величини $\Delta\tau = |\tau - 1| + C_4$

$$Q = 2 + C_5 / \Delta\tau^{0.6};$$

$$S = \begin{cases} 1/\Delta\tau & \text{для } \tau \geq 1 \\ C_6 / \Delta\tau^{0.6} & \text{для } \tau < 1. \end{cases} \quad (22)$$

Значення коефіцієнтів d_i і C_i наведені в [55].

Для обчислення коефіцієнта поверхневого натягу води рекомендовано рівняння

$$\sigma = B(1 - \tau)^{1.256} [1 + b(1 - \tau)], \quad (23)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого напруження, мН/м;
 $B = 23 \text{ } \text{мН/м}$; $\tau = T/T_{кр}$; T – абсолютна температура, К;
 $T_{кр} = 647,096 \text{ К}$; $b = -0.625$

Висновки. Аналіз наведених вище унікальних властивостей СКВ і характер її впливу на цільові компоненти і БАР, що екстрагуються з рослинної сировини, дозволяє зробити висновок, що використання СКВ у процесах екстрагування є найбільш обґрунтованим, дозволить істотно підвищити ефективність самого процесу і забезпечить високі споживчі якості продуктів, що були екстраговані; найбільш доцільно використовувати СКВ з параметрами: тиск – до 25 МПа, а температура – 100...160⁰ С.

Список джерел інформації / References

1. Young, I.S, Woodside, J.V. (2001), "Antioxidants in health and disease", *J. Clin. Pathol*, Vol. 54, No. 3, pp. 176-186.
2. Bors, W, Michel, C. (2002), "Chemistry of the antioxidant effect of polyphenols", *Ann. N. Y. Acad. Sci*, Vol. 957, pp. 57-69.
3. Hua Li, Xiaoyu Wang, Peihong Li, Yong Li and Hua Wang (2008), "Comparative Study of Antioxidant Activity of Grape (*Vitis vinifera*) Seed Powder Assessed by Different Methods", *Journal of Food and Drug Analysis*, Vol. 16, No. 6, pp. 67-73.
4. Jerry W. King (2002), "Supercritical Fluid Extraction: Present Status and Prospects", *Grasas y Aceites*, Vol. 53, Fasc. 1, pp. 8-21.
5. Галкин А. А. Вода в суб- и сверхкритическом состояниях – универсальная среда для осуществления химических реакций / А. А. Галкин, В. В. Лунин // Успехи химии. – 2005. – № 74 (1). – С. 127–135.
Galkin, A. (2005), "The water in sub- and supercritical – universal medium for chemical reactions", [Voda v sub- i sverhkriticheskom sostoyaniyah – universalnaya sreda dlya osuschestvleniya himicheskikh reaktsiy], *Russian Chemical Reviews*, No. 74 (1), pp. 127-135.
6. Коничев А. С. Традиционные и современные методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья: перспективы, достоинства, недостатки / А. С. Коничев, П. В. Баурин // Вестник МГОУ. Сер. Естественные науки. – 2011. – № 3. – С. 49–54.
Konichev, A., Baurin, P. (2011), "Traditional and modern methods of extraction of biologically active substances from plant material: prospects, advantages, disadvantages" ["Traditsionnyie i sovremennyye metodyi ekstraktsii biologicheski aktivnyih veschestv iz rastitelnogo syriya: perspektivy, dostoinstva, nedostatki"], *Bulletin MGOU. A series of natural science*, No. 3, p. 49-54.
7. Boussetta, N., Vorobiev, E., Deloison, V., Pochez, F., Falcimaigne-Cordin, A., Lanoiselle, J.-L. (2011), "Valorisation of grape pomace by the extraction of phenolic antioxidants: Application of high voltage electrical discharges", *Journal of Food Chemistry*, No. 128, pp. 364-370.

8. Развитие технологий, основанных на использовании сверхкритических флюидов / Д. Ю. Заплетухин, Н. А. Тилькунова, И. В. Чернышова, В. С. Поляков // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2006. – Т. 1, № 1. – С. 27–44.

Zapletuhin, D. (2006). "The development of technologies based on the use of supercritical fluids" ["Razvitie tehnologiy, osnovannykh na ispolzovanii sverhkriticheskikh fluyidov"], *Supercritical fluids: theory and praktika*, Vol. 1, No. 1, pp. 27-44.

9. Лемановский Д. А. Сверхкритические среды. Новые химические реакции и технологии / Д. А. Лемановский, В. Н. Баграташвили // Соросовский Образовательный журнал. – 1999. – № 10. – С. 24–31.

Lemianouski, D. (1999) "Supercritical fluids. New chemical reactions and technology" ["Novyye himicheskie reaktсии i tehnologii"], *Soros Educational Journal*, No. 10, pp. 24-31.

10. Ines J. Seabra, Mara Elga M. Braga, Maria Teresa Batista, Herminio C. de Sousa (2010), "Effect of solvent (CO₂/ethanol/H₂O) on the fractionated enhanced solvent extraction of anthocyanins from elderberry pomace", *Journal of Supercritical Fluids*, No. (54), pp. 145-152.

11. Rangsiwong, P., Rangkadilok, N., Satayavivad, J., Goto, M., Shotipruk, A. (2009), "Subcritical water extraction of polyphenolic compounds from terminalia chebula retz. fruits", *Separation and Purification Technology*, No. 66 (1), pp. 51–56.

12. Rodriguez-Meizoso, I., Marin, Herrero, M., Senorans, F. J., Reglero, G., Cifuentes, A., Ibanez, E. (2006), "Subcritical water extraction of nutraceuticals with antioxidant activity from oregano. chemical and functional characterization", *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, No. 41(5), pp. 1560-1565.

13. Khuwijitjaru, P., Sayputikasikorn, N., Samuhasaneetoo, S., Penroj, P., Siriwongwilaichat, P., Adachi, S. (2012), "Subcritical water extraction of flavoring and phenolic compounds from cinnamon bark (cinnamomum zeylanicum)", *Journal of Oleo Science*, No. 61(6), pp. 349-355.

14. Sabiha Hanim, S., Norsyabilah, R., Nor Suhaila, M. H., Noraishah, A., Siti Kartina, A.K. (2012), "Effects of temperature, time and pressure on the hemicelluloses yield extracted using subcritical water extraction", *Procedia Engineering* 42 (2012). 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012 25 – 29 August 2012, Prague, Czech Republic, pp. 562-565.

15. Извлечение биофлаваноида – кверцетина из растительного сырья в среде субкритической воды / А. В. Лекарь, С. Н. Борисенко, Е. В. Максименко, В. И. Минкин // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2008. – Т. 3, № 2. – С. 33–36.

Healer, A. (2008), "Removing bioflavonoids – quercetin from plant material in the environment subcritical water", *Supercritical fluids: theory and praktika* ["Izvyechenie bioflavanoida – kvvertsetina iz rastitelnogo syryya v srede subkriticheskoj vody"], Vol. 3, No. 2. pp. 33-36.

16. Полежаев В. И. Гидродинамика околокритических жидкостей / В. И. Полежаев, Е. Б. Соболева // Природа. – 2003. – № 10. – С. 17–26.

Polezhaev, V.I., Soboleva, E.B. (2003), "Hydrodynamics near-critical fluids" ["Gidrodinamika okolokriticheskikh zhidkostey"], *Nature*, No. 10, pp. 17-26

17. Исследование динамики водородной связи в сверхкритической воде / Антипова М. Л., Абакумова Н. А., Гурина Д. Л., Петренко В. Е. // Вестник ПГТУ. – 2009. – Т. 15, № 2. – С. 366–372.

Antipova, M., Abakumova, N., Gurina, D., Petrenko, V. (2009), "Study of the dynamics of the hydrogen bond in supercritical water", *Bulletin TGTU*, ["Issledovanie dinamiki vodorodnoy svyazi v sverhkriticheskoy vode"], Vol. 15, No. 2, pp. 366-372.

18. Петренко В. Е. Молекулярно-динамическое моделирование суб- и сверхкритической воды с новым потенциалом взаимодействия / В. Е. Петренко, М. Л. Антипова, О. В. Ведь // Журнал физической химии. – 2007. – Т. 81, № 12. – С. 2237–2244.

Petrenko, V. (2007), "Molecular dynamics simulation of sub- and supercritical water with a new potential interaction" ["Molekulyarno-dinamicheskoe modelirovanie sub- i sverhkriticheskoy vodyi s novym potentsialom vzaimodeystviya"], *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 81, No. 12, pp. 2237-2244.

19. Kalinichev, A.G. (2001), "Molecular simulations of liquid and supercritical water: thermodynamics, structure and hydrogen bonding", *Reviews in Mineralogy and Geochem*, Vol. 42, pp. 83-130.

20. Моделирование структуры и динамики сетки водородных связей / Ведь О. В., Петренко В. Е., Антипова М. Л., Альпер Г. А. // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 55–68.

Ved, O. (2007). "Modeling of the structure and dynamics of the hydrogen bond network" ["Modelirovanie strukturyi i dinamiki setki vodorodnykh svyazey"] *Supercritical Fluids: Theory and Practice*, Vol. 2, No. 2, pp. 55-68.

21. Tassaing, T., Danten, Y., Besnard, M. (2004), "Supercritical water: Local order and molecular dynamics", *Pure Appl. Chem.*, Vol. 76, No. 1, pp. 133-139.

22. Кесслер Ю. М. Вода: структура, состояние, сольватация / Ю. М. Кесслер, В. Е. Петренко, А. К. Лященко. – М.: Наука, 2003. – С. 404.

Kessler, J.M., Petrenko, V.E., Lyaschenko, A.K. (2003), *Water: structure, state solvation [Voda: struktura, sostoyanie, solvatsiya]*, Nauka, Moscow, 404 p.

23. Горбатый Ю. Е. Сверхкритическое состояние воды / Ю. Е. Горбатый, Г. В. Бондаренко // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 5–19.

Gorbaty, Y., Bondarenko, G. (2007), "Supercritical water". ["Sverhkriticheskoe sostoyanie vodyi"], *Supercritical Fluids: Theory and Practice*, Vol. 2, No. 2, pp. 5-19.

24. Полежаев В. И. Гидродинамика околокритических жидкостей / В. И. Полежаев, Е. Б. Соболева // Природа. – 2003. – № 10. – С. 17–26.

Polezhaev, V.I., Sobolev, E.B. (2003). "Hydrodynamics near-critical fluids" ["Gidrodinamika okolokriticheskikh zhidkostey"], *Nature*, No. 10, pp.17-26.

25. Влияние параметров состояния на свойства сверхкритической воды. Компьютерное моделирование структуры и динамики сетки водородных

связей / Веды О. В., Петренко В. Е., Антипова М. Л., Альпер Г. А. // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 55–69.

Ved, O., Petrenko, V., Antipova, M., Alper, G. (2007), "Effect of state parameters on the properties of supercritical water. Computer modeling of the structure and dynamics of the hydrogen bond network" ["Vliyanie parametrov sostoyaniya na svoystva sverhkriticheskoy vody. Kompyuternoe modelirovaniye struktury i dinamiki setki vodorodnykh svyazey"], *Supercritical Fluids: Theory and Practice*, Vol. 2, No. 2, pp. 55-69.

26. Исследование динамики водородной связи в сверхкритической воде / Антипова М. Л., Абакумова Н. А., Гурина Д. Л., Петренко В. Е. // Вестник ТГТУ. – 2009. – Т. 15, № 2. – С. 366–372.

Antipova, M., Abakumova, N., Gurina, D., Petrenko, V.E. (2009). "Study of the dynamics of the hydrogen bond in supercritical water" ["Issledovanie dinamiki vodorodnoy svyazi v sverhkriticheskoy vode"], *Bulletin TGTU*, Vol. 15, No. 2, pp. 366-372.

27. Опарин Р. Д. Влияние изобарического нагрева на образование водородных связей в докритической воде // Журнал общей химии. – 2007. – Т. 77, № 1. – С. 21–28.

Oparin, R. (2007), "Influence of isobaric heating on formation of hydrogen bonds in the subcritical water" ["Vliyanie izobaričeskogo nagreva na obrazovanie vodorodnykh svyazey v dokriticheskoy vode"], *Journal of General Chemistry*, Vol. 77, No. 1, pp. 21-28.

28. Водородные связи в суб- и сверхкритической воде вблизи кривой насыщения: топологический аспект / Гурина Д. Л., Абакумова Н. А., Антипова М. Л., Петренко В. Е. // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 848–857.

Gurina, D., Abakumova, N., Antipova, M., Petrenko, V. (2010), "Hydrogen bonds in sub- and supercritical water near the saturation curve: the topological aspect" ["Vodorodnye svyazi v sub- i sverhkriticheskoy vode vblizi krivoy насыщения topologicheskiiy aspekt"], *Herald TGTU*, Vol. 16, No. 4, pp. 848-857.

29. Осипов О. А. Справочник по дипольным моментам / О. А. Осипов, В. И. Минкин, А. Д. Гарновский ; под общ. ред. О. А. Осипова. – 3-е изд. – М. : Наука, 1971. – 231 с.

Osiyov, O.A. (1971), *Handbook of dipole moments 3rd ed.* [*Spravochnik po dipolnyim momentam*], Nauka, Moscow, 231 p.

30. Маленков Г. Г. Споры о структуре воды / Г. Г. Маленков // Химия и жизнь. – 2007. – № 3. – С. 50–54.

31. Aki, S.N.V.K., Feng, J., Chateaufneuf, J.E., Brennecke, J.F. (2001), *J. Phys. Chem. A*, 105, 8046.

32. Schmidt, E. (1969), *Properties of Water and Steam in SI-Units*. Springer Verlag, Berlin.

33. Franck, E.U. (1984), *Ber. Bunsen-Ges. Phys. Chem.*, 88, 820.

34. Eckert, C.A., Chandler, K. (1998), *J. Supercrit. Fluids*, 13, 187.

35. Patrick, H.R., Griffith, K., Liotta, C.L., Eckert, C.A. (2001), *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, 6063.

36. Biswas, R., Bagchi, B. (1998), *Chem. Phys. Lett.*, 290, 223.

37. Kalinichev, A.G., Churakov, S.V. (1999), *Chem. Phys. Lett.*, 302, 411.

38. Marcus, Y. (1999), *FluidPhase Equilib.*, 164, 131.
39. McHugh. M.A., Krukonis, V.J. (1994), *Supercritical Fluid Extraction: Principles and Practice*. 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Amsterdam.
40. Shaw, R.W., Bill. T.B., Clifford, A.A., Eckert, C.A., Franck, E.U. (1991), *Chem. Eng. News*, 69, 26.
41. Wallen, S.L., Palmer, B.J., Fulton, J.L. (1998), *J. Chem. Phys.*, 108, 4039.
42. Lee. S.H., Cummings, P.T., Simonson, J.M., Mesmer, R.E. (1998), *Chem. Phys. Lett.*, 293, 289.
43. IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. International Association for the Properties of Water and Steam, Executive Secretary R.B. Dooley. Electric Power Research Institute. Palo Alto. CA 94304, USA.
44. Release on the IAPWS Formulation 1985 for the Viscosity of Ordinary Water Substance. International Association for the Properties of Water and Steam Proc. 12th Int. Conf. Prop. Water and Steam. H. Wiyte and J.V. Sengers, ed. Begell House. NY, 1995. P. A33-48.

Сукманов Валерій Олександрович, д-р техн. наук, проф., ст. наук. спіроб., кафедра технологічного обладнання харчових виробництв і торгівлі, Полтавський університет економіки і торгівлі, Адреса: вул. Коваля, 5, м. Полтава, Україна, 86014. Тел.: 0503680306; e-mail: Sukmanov53@mail.ru.

Сукманов Валерий Александрович, д-р техн. наук, проф., ст. науч. сотр., кафедра технологического оборудования пищевых производств и торговли, Полтавський університет економіки и торговли, Адрес: ул. Коваля, 5, г. Полтава, Украина, 86014. Тел.: 0503680306; e-mail: Sukmanov53@mail.ru.

Sukmanov Valerii, Doctor of technical sciences, Professor, Senior Researcher, professor of chairs of Technological Equipment for Food Production and Commerce Poltava University of Economics and Trade. Address: Koval str., 5, Poltava, Ukraine, 86014. Tel.: 0503680306; e-mail: Sukmanov53@mail.ru.

Петрова Юлія Миколаївна, канд. техн. наук, доц., ст. наук. спіроб., Проблемна науково-дослідна лабораторія, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033. Тел.: 0506486990; e-mail: yunic@ukr.net.

Петрова Юлия Николаевна, канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотр., Проблемная научно-исследовательская лаборатория, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01033. Тел.: 0506486990; e-mail: yunic@ukr.net.

Petrova Yulia, Ph.D., Associate Professor, Senior Research Fellow of the Problem Research Laboratory, National University of Food Technologies. Address: Vladivinskaya str., 68, Kyiv, Ukraine, 01033. Tel.: 0506486990; e-mail: yunic@ukr.net.

Захаревич Валерій Болеславович, канд. техн. наук, доц., ст. наук. спіроб., завдувач, Проблемна науково-дослідна лабораторія, кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування,

Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033. Тел.: 0674401378; e-mail: ktp-ukr@bigmir.net.

Захаревич Валерій Болеславович, канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотр., заведуючий, Проблемная научно-исследовательская лаборатория, кафедра технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01033. Тел.: 0674401378; e-mail: yunic@ukr.net.

Zakharevych Valerii, Ph.D., Associate Professor of processing equipment and computer technology design, Head of the Problem Research Laboratory, National University of Food Technology of Ukraine. Address: Vladimirska str., 68, Kyiv, Ukraine, 01033. Тел.: 0674401378; e-mail: ktp-ukr@bigmir.net.

Маринін Андрій Іванович, канд. техн. наук, ст. науч. співроб. Проблемна науково-дослідна лабораторія, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033. Тел.: 0503574667; e-mail: a_marinin@ukr.net.

Маринин Андрей Иванович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Проблемная научно-исследовательская лаборатория, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01033. Тел.: 0503574667; e-mail: a_marinin@ukr.net.

Marinin Andrew, Associate Professor, Senior Research Fellow of the Problem Research Laboratory, National University of Food Technologies. Address: Vladivirska str., 68, Kyiv, Ukraine, 01033. Тел.: 0503574667; e-mail: a_marinin@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.03.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 664.144:582.916.36

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ ТЕРМОСТІЙКОЇ МОЛОКОВМІСНОЇ НАЧИНКИ З КОНЦЕНТРАТОМ НАСІННЯ КУНЖУТУ

М.В. Обозна, Г.Д. Любенко, Ф.В. Перцевой

Вивчено хімічний склад термостійкої начинки з комбінованим молочно-рослинним складом. Як молочну сировину в ній використано сухе знежирене молоко, а як рослинну – концентрат насіння кунжуту та гідроколагіди, а саме пектин цитрусовий низькоетерифікований і крохмаль кукурудзяний