

УДК 631.164.3

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.26>

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДІЄТИЧНИХ ДОБАВОК В ХАРЧОВИХ СИСТЕМАХ СОУСІВ

Антоненко А. В. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри стандартизації та сертифікації сільськогосподарської продукції
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Баль-Прилипко Л. В. – доктор технічних наук, професор,
професор кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0002-9489-8610

У статті проведено дослідження щодо раціональних концентрацій гуміарабіка та пектину у композиційних сумішах досліджували гідратаційну здатність, поверхневий натяг, ефективну в'язкість їх розчинів у різних середовищах. При взаємодії гуміарабіку у концентрації 1–6 % і пектину 0,5–2 % з рідиною відбувається їхнє набрякання і розчинення, що в свою чергу супроводжується зниженням поверхневого натягу розчинів, що полегшує диспергування поверхневих систем. За низьких концентрацій (пектини до 2 % і гуміарабік до 6 %) утворені розчини можна охарактеризувати скоріше як ньютонівські рідини оскільки вони не змінюють свою в'язкість за різних значень швидкостей зсуву. Гідратацію полісахаридів (пектину, гуміарабіку) можна умовно поділити на два етапи. Перший етап характеризується наростанням ефективної в'язкості водних розчинів до максимальних значень (максимальні підйоми ділянок кривих), другий етап – досягнення системами відносно постійних значень ефективної в'язкості. Встановлено середню швидкість гідратації полісахаридів: підвищення в'язкості водних систем пектину і гуміарабіку залежно від концентрації характеризується середньою швидкістю набрякання і розчинення. Аналіз отриманих залежностей свідчить, що процес розчинення досліджуваних полімерів відбувається з різною швидкістю і залежить від концентрації полісахаридів. Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що процес утворення рівноважних систем «полісахарид – вода» при температурі 20 ± 2 °C достатньо тривалий $14.4 \cdot 10^3 - 18 \cdot 10^3$ с, що ставить завдання інтенсифікації процесів гідратації. Виявлено, що підвищення швидкості утворення рівноважних систем пектину з підвищенням температури можна пояснити руйнуванням водневих зв'язків, в результаті сегменти макромолекул стають рухливішими, внаслідок чого збільшується швидкість їх розчинення. При збільшенні концентрації полісахаридів спостерігається загальна тенденція до збільшення значеннями ефективної в'язкості, аніж гуміарабік.

Ключові слова: реологія, соуси, модельні харчові системи, модельні композиції, рослинні гідроколоїди, гуміарабік, пектин, лактат кальція, ефективна в'язкість, напруга зсуву.

Antonenko A. V., Bal-Prylypko L. V. Research on the rheology of dietary additives in sauce food systems

The article conducted a study on the rational concentrations of gum arabic and pectin in composite mixtures, studied the hydration capacity, surface tension, effective viscosity of their solutions in different media. When gum arabic in a concentration of 1–6 % and pectin 0.5–2 % interact with a liquid, their swelling and dissolution occur, which in turn is accompanied by a decrease in the surface tension of the solutions, which facilitates the dispersion of surface systems. At low concentrations (pectins up to 2 % and gum arabic up to 6 %), the resulting solutions can be characterized more as Newtonian liquids, since they do not change their viscosity at different shear rates. Hydration of polysaccharides (pectin, gum arabic) can be conditionally divided into two stages. The first stage is characterized by an increase in the effective viscosity of aqueous solutions to maximum values (maximum slopes of the sections of the curves),

the second stage is the achievement by the systems of relatively constant values of effective viscosity. The average rate of hydration of polysaccharides has been established: the increase in the viscosity of aqueous systems of pectin and gum arabic depending on the concentration is characterized by the average rate of swelling and dissolution. Analysis of the obtained dependences shows that the dissolution process of the studied polymers occurs at different speeds and depends on the concentration of polysaccharides. Analysis of experimental data shows that the process of formation of equilibrium systems "polysaccharide – water" at a temperature of $20 \pm 2^\circ\text{C}$ is quite long $14.4 \cdot 10^3$ – $18 \cdot 10^3$ s, which sets the task of intensification of hydration processes. It was found that the increase in the rate of formation of equilibrium pectin systems with increasing temperature can be explained by the destruction of hydrogen bonds, as a result, the segments of macromolecules become more mobile, as a result of which the rate of their dissolution increases. With increasing polysaccharide concentration, there is a general trend towards an increase in effective viscosity; at the same concentrations, pectin forms solutions with higher effective viscosity values than gum arabic.

Key words: *rheology, sauces, model food systems, model compositions, plant hydrocolloids, gum arabic, pectin, calcium lactate, effective viscosity, shear stress.*

Вступ. Реологічні властивості відіграють ключову роль у розробці соусів, впливаючи на їх текстуру, консистенцію, стабільність і споживчі якості. Дієтичні добавки, як функціональні інгредієнти, дедалі частіше застосовуються для створення продуктів із покращеними характеристиками, що відповідають сучасним вимогам здорового харчування. На основі доступних даних і загальних тенденцій у харчовій науці в Україні, можна виділити кілька ключових напрямів, які досліджуються українськими вченими у контексті реології та дієтичних добавок у соусах.

Реологічні властивості соусів, такі як в'язкість, еластичність, тиксотропія та стабільність емульсій, є ключовими факторами, що визначають їхню текстуру, органолептичні характеристики та термін придатності. Зарубіжні дослідники зосереджуються на інтеграції дієтичних добавок (наприклад, гідроколідів, клітковини, білків) для оптимізації цих параметрів.

Українські вчені активно працюють над інтеграцією дієтичних добавок у харчові системи, зокрема соуси, з акцентом на реологічні характеристики. Основний фокус спрямований на натуральні стабілізатори, функціональні інгредієнти та методи оцінки стабільності. Подальші дослідження можуть бути зосереджені на оптимізації рецептур і створенні універсальних добавок для промислового виробництва соусів із покращеними якісними характеристиками.

Постановка проблеми. Проблематика досліджень часто пов'язана з недостатньою кількістю систематизованих даних про взаємодію конкретних дієтичних добавок із компонентами соусів, а також із браком стандартизованих методик оцінки їхньої ефективності. Перспективним напрямом є розробка комбінованих добавок, які б одночасно покращували реологічні властивості, стабільність і біологічну цінність соусів.

Одним із викликів є складність прогнозування взаємодії дієтичних добавок із іншими компонентами соусів, що може призводити до непередбачуваних змін реології. Крім того, високі концентрації добавок іноді погіршують смакові якості. Перспективним напрямом є розробка «чистих» (clean-label) добавок, які сприймаються споживачами як натуральні, а також використання комбінованих систем для досягнення оптимального балансу між функціональністю та стабільністю.

Українські вчені активно працюють над інтеграцією дієтичних добавок у харчові системи, зокрема соуси, з акцентом на реологічні характеристики. Основний фокус спрямований на натуральні стабілізатори, функціональні інгредієнти та методи оцінки стабільності. Подальші дослідження можуть бути зосереджені на

оптимізації рецептур і створенні універсальних добавок для промислового виробництва соусів із покращеними якісними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зарубіжні і вітчизняні дослідження демонструють значний прогрес у використанні дієтичних добавок для покращення реологічних характеристик соусів. Основний акцент робиться на гідроколоїдах, клітковині та білках як засобах підвищення стабільності й якості продуктів, особливо в низькокалорійних рецептурах [1, 2].

Українські дослідники активно вивчають гідроколоїди (наприклад, ксантанову камедь, гуарову камедь, пектин), які використовуються як стабілізатори та загущувачі. Ці добавки дозволяють регулювати в'язкість і еластичність соусів, покращуючи їх стабільність при зберіганні. Дослідження показують, що додавання пектину до емульсійних соусів сприяє формуванню стійкої гелеутворюючої структури, що запобігає розшаруванню [3].

У працях, присвячених розробці соусів із функціональними властивостями, часто згадується використання рослинної сировини (наприклад, борошна амаранту, насіння чіа або льону) як джерела клітковини та біоактивних сполук. Такі добавки не лише покращують поживну цінність, але й впливають на реологічні параметри, зокрема підвищують в'язкість і стабільність емульсій [4].

Останні публікації вказують на тенденцію заміни жирів у соусах дієтичними добавками, які імітують кремову текстуру. Наприклад, дослідження з використанням модифікованих крохмалів або білкових ізолятів демонструють, як ці компоненти впливають на плинність і тиксотропні властивості соусів, зберігаючи їх органолептичні характеристики [5].

Українські вчені застосовують сучасні методи, такі як ротаційна віскозиметрія та осциляційна реометрія, для аналізу реологічних характеристик соусів із дієтичними добавками. Ці методи дозволяють оцінити в'язкоеластичні властивості та прогнозувати поведінку продукту в умовах виробництва та зберігання [6].

Дослідження останніх років показують, що гідроколоїди, такі як ксантанова камедь, карагенан і альгінат, широко застосовуються для регулювання реологічних характеристик соусів. Додавання ксантанової камеді до низькожирних соусів підвищує в'язкість і стабільність емульсій, компенсуючи втрату текстури через зменшення вмісту жиру. Автори зазначають, що ці добавки також сприяють покращенню стабільності при термічній обробці та зберіганні [7].

У контексті дієтичних добавок значна увага приділяється клітковині (інулін, пектин) і рослинним екстрактам. Дослідження показують, що інулін не лише збагачує соуси харчовими волокнами, але й впливає на їхню тиксотропну поведінку, що важливо для створення кремоподібної консистенції. Такі добавки також підвищують стійкість до синерезису (виділення рідини), що є критичним для емульсійних соусів [8].

Зарубіжні вчені, досліджують використання білково-жирових добавок із сої або гороху як дієтичних добавок у соусах. Ці компоненти покращують в'язкоеластичні властивості, сприяючи формуванню міцної структури, що запобігає розшаруванню. Дослідження показують, що комбінація білків із полісахаридами (наприклад, пектином) створює синергетичний ефект, оптимізуючи реологічні параметри [9].

Сучасні методи, такі як осциляційна реометрія та мікрореологія, активно застосовуються для аналізу впливу дієтичних добавок на соуси. Мікрореологічні техніки дозволяють оцінити локальні зміни в структурі соусів при введенні наноструктурованих добавок, таких як целюлозні нанокристали. Це сприяє розробці продуктів із контрольованою текстурою та підвищеною стабільністю [10].

Дослідники вивчають заміну традиційних жирів дієтичними добавками, такими як модифіковані крохмалі та бета-глюкани. Ці компоненти не лише знижують калорійність, але й зберігають бажані реологічні характеристики, такі як пластичність і geleутворення, що важливо для споживчого сприйняття [11].

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення методів аналізу та розробку екологічно чистих добавок, що відповідають сучасним трендам у харчовій промисловості.

Метою роботи є дослідження реологічних характеристик дієтичних добавок в харчових системах з метою поліпшення якості та стабільності соусів.

Виклад основного матеріалу. При визначенні вихідної сировини, аналізу наукових джерел, встановлено, що для отримання соусів високої якості доцільно використовувати гідроколоїди полісахаридної природи: камеді, пектини. В ході попереднього вибору і обґрунтування об'єктів дослідження, були вивчені гуміарабік, пектини, білково-жирові добавки, солі кальцію. Дієтичні добавки обрано не лише з урахуванням їх фізіологічної користі, але і з врахуванням технологічних властивостей.

Важливим етапом в процесі виробництва соусів є отримання харчової системи з визначеною консистенцією за рахунок використання структуроутворювача. Для використання у технології соусів, дієтичні добавки повинні мати властивості структуроутворювача, згущувача, стабілізатора та емульгатора. Для моделювання композиційної суміші досліджено фізико-хімічні та технологічні показники дієтичних добавок та обґрунтовано доцільність їхнього сумісного використання у технологіях соусів функціонального призначення.

На основі літературних джерел та попередньо проведених експериментів встановлено, що гідроколоїди полісахаридної природи використовують в концентраціях: пектини до 3 %, а гуміарабік до 30 %.

Для визначення раціональних концентрацій гуміарабіку та пектину у композиційних сумішах досліджували гідратаційну здатність, поверхневий натяг, ефективну в'язкість їх розчинів, адже рідкою основою соусів є вода, бульйони, відвари. Основною характерною властивістю поверхнево-активних речовин (ПАР), що обумовлює їх практичне застосування, є здатність знижувати поверхневий і міжфазний натяг. Правильність підбору ПАР залежить від того, наскільки вивчені і достовірні дані про поверхневі явища, що відбуваються на міжфазній поверхні розділу гетерогенної системи, що містить ПАР. Відомо, що зі зниженням поверхневого натягу полегшується диспергування гетерогенних систем. Таким чином, дослідження поверхневих властивостей речовин є необхідною умовою для обґрунтування їх вибору.

При взаємодії гуміарабіку у концентрації 1–6 % і пектину 0,5–2 % з рідиною відбувається їхнє набрякання і розчинення, що в свою чергу супроводжується зниженням поверхневого натягу розчинів, що полегшує диспергування поверхневих систем. Показники поверхневого натягу зростають зі збільшенням концентрації полісахаридів і набувають постійних значень при концентрації гуміарабіку 5,9–6,0 % та пектину у межах 1,9–2,1 %, а знаходяться на рівні $6,0 \cdot 10^{-2}$ і $6,4 \cdot 10^{-2}$ Н/м відповідно (рис. 1).

Як бачимо, при концентрації в розчині гуміарабіку вище 6.0 %, і пектину 2 % спостерігається межа концентраційного насичення, характерного для ПАР.

Наведені дані свідчать про те, що при вказаних концентраціях вищу поверхневу активність проявляють водні системи гуміарабіку, що є передумовою для використання вибраних гідроколоїдів в якості структуроутворювачів для емульсій та суспензій.

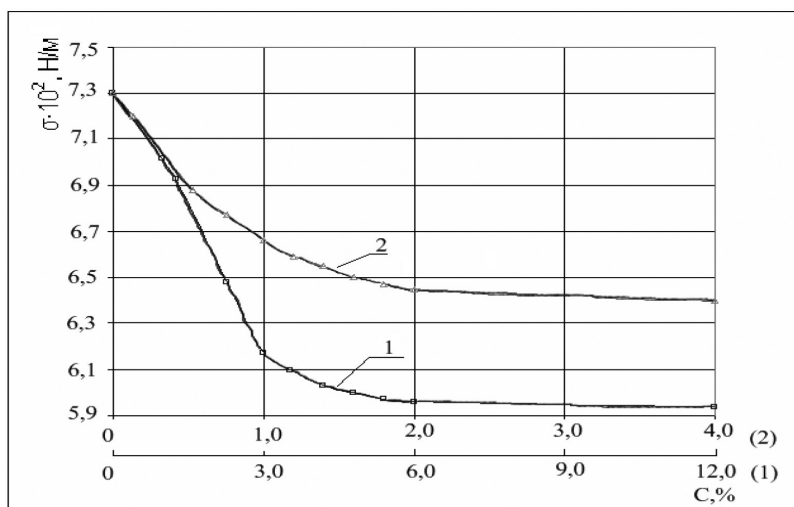


Рис. 1. Поверхневий натяг (σ) водних систем гуміарабіку (1) та пектину (2) в залежності від їх концентрації (C)

Важливою характеристикою якості соусів є реологічні показники (ефективна в'язкість, напруга зсуву). Досліджено ефективну в'язкість водних систем гуміарабіку та пектину за різних значень швидкостей зсуву (рис. 2, 3).

За низьких концентрацій (пектини до 2 % і гуміарабік до 6 %) утворені розчини можна охарактеризувати скоріше як ньютонівські рідини оскільки вони не змінюють свою в'язкість за різних значень швидкостей зсуву. Розчини з більшими концентраціями полісахаридів набувають характеристик неньютонівських рідин. За

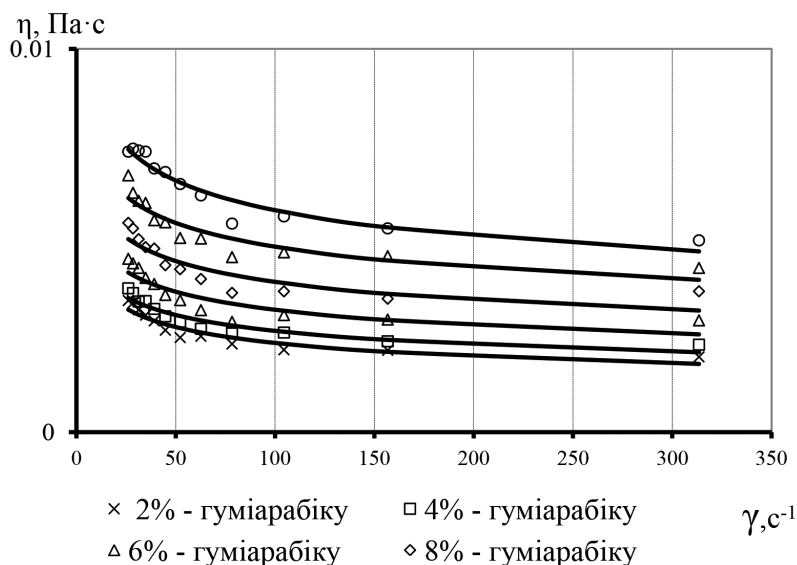


Рис. 2. Ефективна в'язкість водних розчинів за різних концентрацій гуміарабіку і швидкостей зсуву

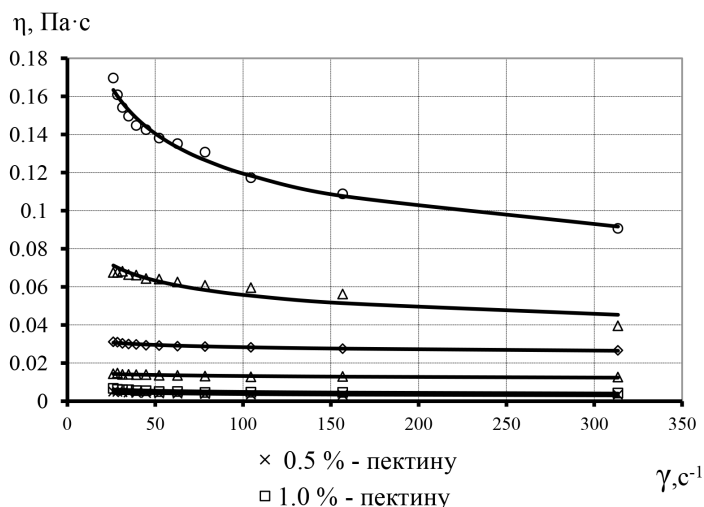


Рис. 3. Ефективна в'язкість водних розчинів за різних концентрацій пектину і швидкостей зсуву

однакових концентрацій (2 %) ефективна в'язкість пектину ($0,03 \text{ Па} \cdot \text{с}$) на порядок є вищою за гуміарабік ($0,003 \text{ Па} \cdot \text{с}$). При збільшенні концентрації пектину (до 3 %) і гуміарабіку (до 12 %) за швидкості зсуву 160 s^{-1} в'язкість зростає в 3,6 та 1,7 рази відповідно.

На основі отриманих даних побудовано залежності напруги зсуву від швидкостей зсуву для гуміарабіку та пектину за різних концентрацій (рис. 4, 5). Для даних систем полісахаридів характерна лінійна залежність.

Напруга зсуву при швидкості зсуву 160 s^{-1} для гуміарабіку та пектину при концентраціях 2.0 і 0.5 % складає 0.31 та 1.0 Па, а при збільшенні концентрацій гуміарабіку (4.0–12.0 %) і пектину (1.0–3.0) зростає на 9.0–156.3 % для гуміарабіку

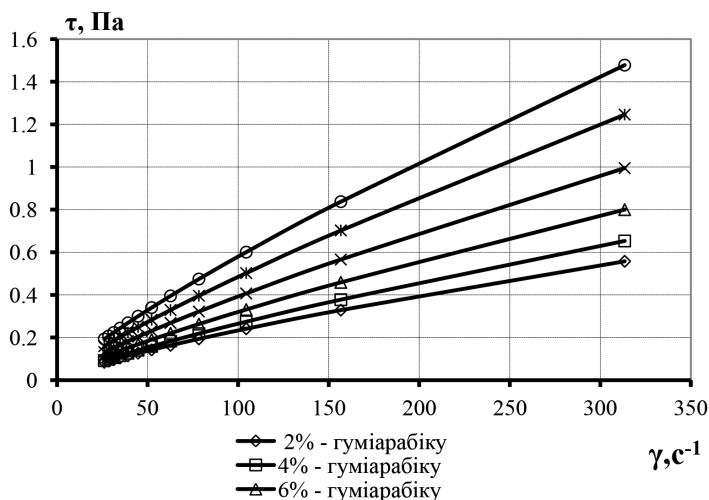


Рис. 4. Напруга зсуву водних розчинів гуміарабіку (2.0–12.0 %) за різних значеннях швидкості зсуву

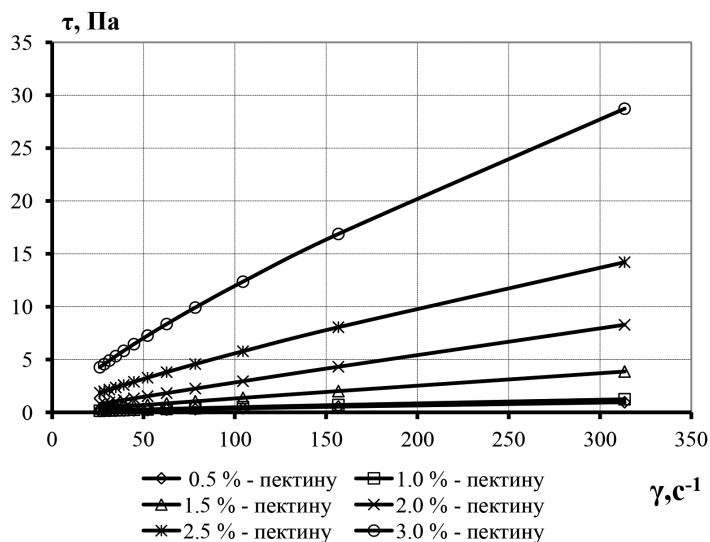


Рис. 5. Напряга зсуву водних розчинів пектину (0.5–3.0 %) за різних значеннях швидкості зсуву

та 1.1–17.3 рази для пектину. Водні розчини пектину (2.0 %) мають на порядок більшу напружку зсуву – 4.1 Па; ніж розчини гуміарабіку (6.0 %) – 0.42 Па.

Гідратацію полісахаридів (пектину, гуміарабіку) можна умовно поділити на два етапи. Перший етап характеризується наростанням ефективної в'язкості водних розчинів до максимальних значень (максимальні підйоми ділянок кривих), другий етап – досягнення системами відносно постійних значень ефективної в'язкості. В перші $14.4 \cdot 10^3$ с взаємодії полісахаридів з водою ефективна в'язкість суспензій полісахаридів залежно від концентрації зростає в середньому на 10–20 % від первинної. Максимальних значень ефективної в'язкості водні розчини набувають при концентраціях гуміарабіку 2.0 % і 4.0 % (криві 1, 2) протягом $10.1 \cdot 10^3$ – $10.8 \cdot 10^3$ с; 6.0 % (крива 3) протягом $14.4 \cdot 10^3$ – $16.2 \cdot 10^3$ с; для пектину 0.5 і 1.0 %-ої концентрації (криві 1, 2) через $10.44 \cdot 10^3$ – $10.8 \cdot 10^3$ с, 2.0 % (крива 4) – через $14.4 \cdot 10^3$ – $15.12 \cdot 10^3$ с (рис. 6, 7).

Другий етап гідратації характеризується стабілізацією значень ефективної в'язкості. Тривалість утворення рівноважних систем залежить, також, від ступені дисперсності вихідних порошкоподібних препаратів. Розмір часток гуміарабіку у межах від 100 до 300 мкм, пектину – 100–500 мкм. Для досягнення максимальних значень в'язкості при вказаній дисперсності потрібно не менше $\tau = 7.2 \cdot 10^3$ – $14.4 \cdot 10^3$ с.

Встановлено середню швидкість гідратації полісахаридів: підвищення в'язкості водних систем пектину і гуміарабіку залежно від концентрації характеризується середньою швидкістю набрякання і розчинення ($d\eta/dt$) (рис. 8). Концентрації полісахаридів у водних розчинах істотно впливає на швидкість гідратації. Серед досліджених полісахаридів найвищу швидкість набрякання і розчинення при концентрації якої має гуміарабік (крива 1): при збільшенні концентрації від 1 % до 6 % швидкість набрякання збільшується в 3 рази. Збільшення концентрації пектина у розчинах (крива 2) до 2 % приводить до підвищення швидкості набрякання в 2 рази.

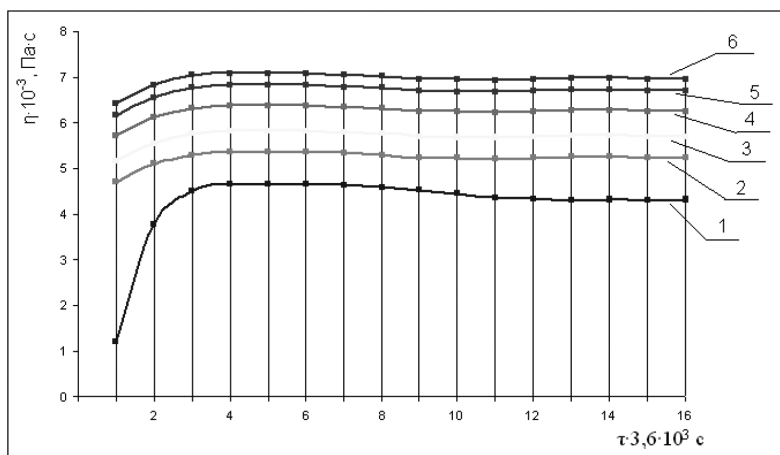


Рис. 6. Ефективна в'язкість (η) водних систем гуміарабіку при концентрації: 1 – 2.0 %, 2 – 4.0 %, 3 – 6.0 %, 4 – 8.0 %, 5 – 10 %, 6 – 12.0 % від часу гідратації, (при $t = 20 \pm 2$ °C)

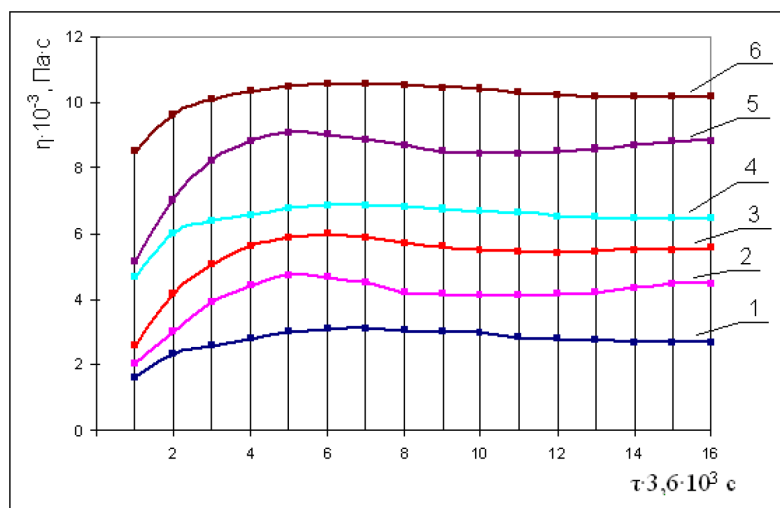


Рис. 7. Ефективна в'язкість (η) водних систем пектину при концентрації: 1 – 0.5 %, 2 – 1.0 %, 3 – 1.5 %, 4 – 2.0 %, 5 – 2.5 %, 6 – 3.0 % від часу гідратації, (при $t = 20 \pm 2$ °C)

Аналіз отриманих залежностей свідчить, що процес розчинення досліджуваних полімерів відбувається з різною швидкістю і залежить від концентрації полісахаридів. У технологічних процесах харчові інгредієнти й, як правило, піддаються одночасно механічним, світловим, тепловим та іншим видам взаємодій, що можуть впливати на швидкість гідратації. Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що процес утворення рівноважних систем «полісахарид – вода» при температурі 20 ± 2 °C достатньо тривалий $14.4 \cdot 10^3$ – $18 \cdot 10^3$ с, що ставить завдання інтенсифікації процесів гідратації. Одним з шляхів інтенсифікації процесу є підвищення температури, оскільки згідно із законом Ван-Гоффа

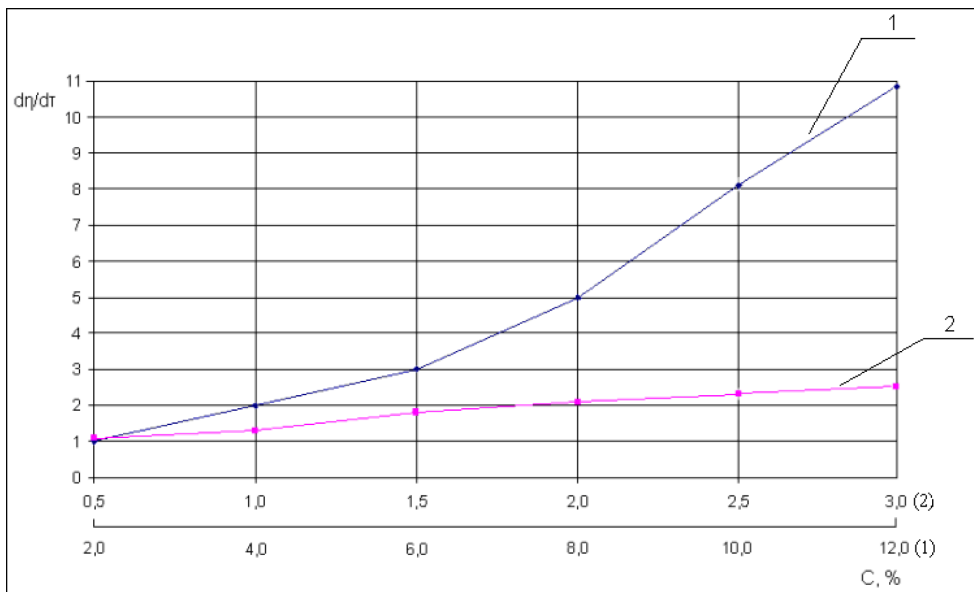


Рис. 8. Середня швидкість гідратації ($d\eta/dt$) гуміарабіку (2–12 % – крива 1), пектину (0,5–2,5 % крива 2) за різних концентрацій (с) при $t = 20 \pm 2$ °C

при одночасній механічній дії і підвищенні температури швидкість гідратації зростає.

Гуміарабік має низьку ефективну в'язкість, тому отримані значення в'язкості систем «гуміарабік–вода» за різних значень температури знаходиться у межах похибки. Вплив температури і тривалості нагрівання на ефективну в'язкість водних систем пектину представлено на рис. 9. У досліджуваному температурному інтервалі (20–90 °C) водні розчини пектину характеризуються зниженням значень ефективної в'язкості (у межах 8–15 %). Дослідження в'язкістних характеристик пектину за вказаних умов показало, що прогрівання при температурі 90 °C протягом $0,9\text{--}1,2 \cdot 10^3$ с впливає на зниження ефективної в'язкості розчинів.

Встановлення рівноважного стану водними розчинами пектину відбувається протягом $1,2\text{--}1,5 \cdot 10^3$ с при температурі 80 ± 2 °C (рис. 10).

Для систем «пектин – вода» тривалість досягнення рівноваги за вказаних умов складає $2,4 \cdot 10^3\text{--}3,0 \cdot 10^3$ с, що менше ніж для систем за температури 20 ± 2 °C. Підвищення швидкості утворення рівноважних систем пектину з підвищенням температури можна пояснити руйнуванням водневих зв'язків, в результаті сегменти макромолекул стають рухливішими, внаслідок чого збільшується швидкість їх розчинення.

Значення ефективної в'язкості рівноважних водних розчинів гуміарабіку та пектину залежить від концентрації полісахаридів (рис. 11, 12).

При збільшенні концентрації полісахаридів спостерігається загальна тенденція до збільшення ефективної в'язкості, за однакових концентрацій пектин утворює розчини з більшими значеннями ефективної в'язкості, ніж гуміарабік. Ефективна в'язкість водних розчинів гуміарабіку (2,0–4,0 %) і пектину (0,5–1,0 %) становить відповідно $(2,3\text{--}2,7) \cdot 10^{-3}$ і $(0,4\text{--}0,5) \cdot 10^{-2}$ Па · с, при збільшенні концентрації до 8,0–12,0 % та 2,0–3,0 % зростає у 1,8–2,3 та 4,5–14,5 разів відповідно.

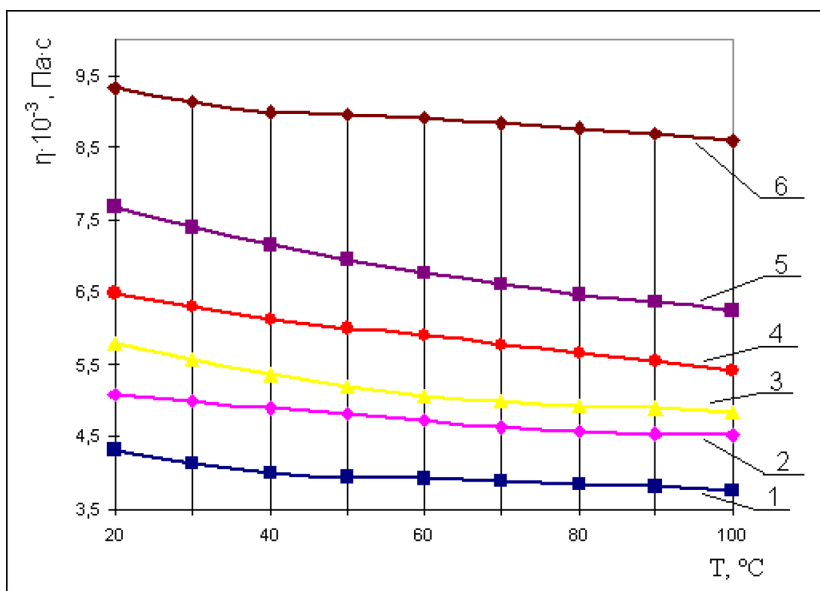


Рис. 9. Ефективна в'язкість (η) систем «пектин – вода» за різних значень температури (T) і концентрації пектину 1 – 0.5 %, 2 – 1.0 %, 3 – 1.5 %, 4 – 2.0 %, 5 – 2.5 %

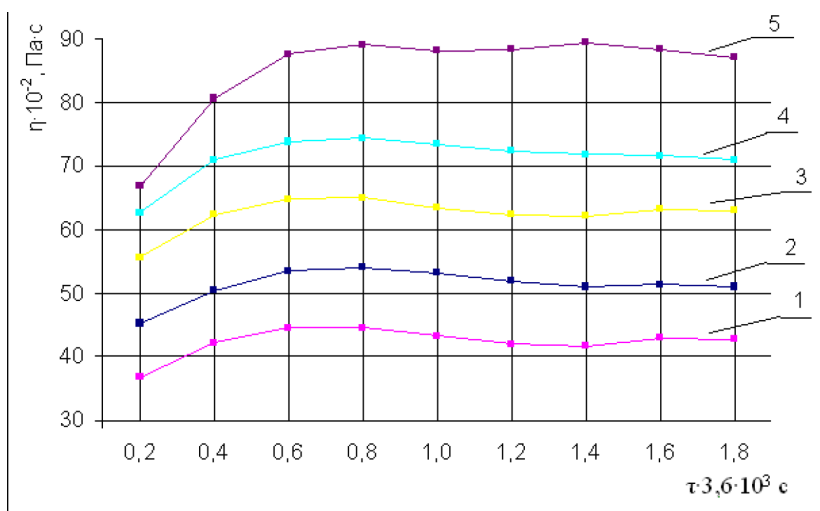


Рис. 10. Ефективна в'язкість (η) водних систем пектину при концентрації: 1 – 0.5 %, 2 – 1.0 %, 3 – 1.5 %, 4 – 2.0 %, 5 – 2.5 % від часу гідратації, (при $t = 80 \pm 2$ °C)

Значне підвищення в'язкості пектинових розчинів і зміною концентрації, пояснюється формою макромолекул, що асоціюються водневими зв'язками між собою та молекулами води.

Висновки. У роботі проведено дослідження щодо раціональних концентрацій гуміарабіка та пектина у композиційних сумішах досліджували гідратаційну

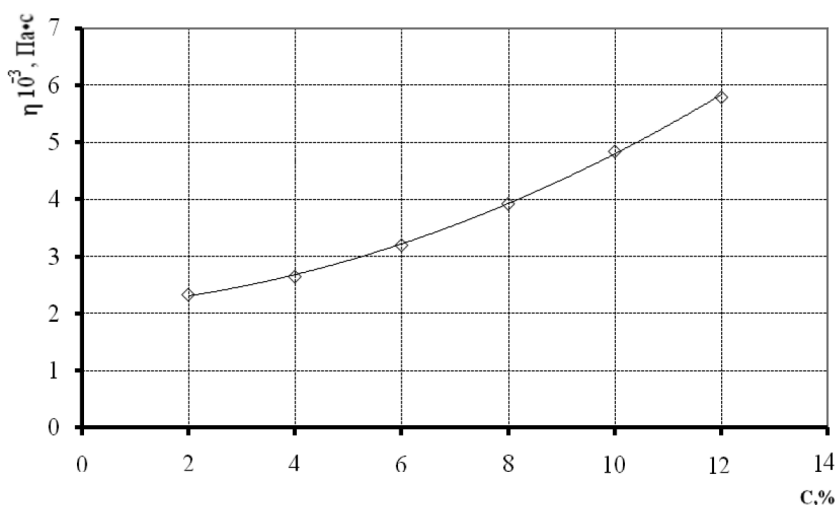


Рис. 11. Ефективна в'язкість водних розчинів гуміарабіку за різних концентрацій (C) гуміарабіку ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, швидкість зсуву 69 s^{-1})

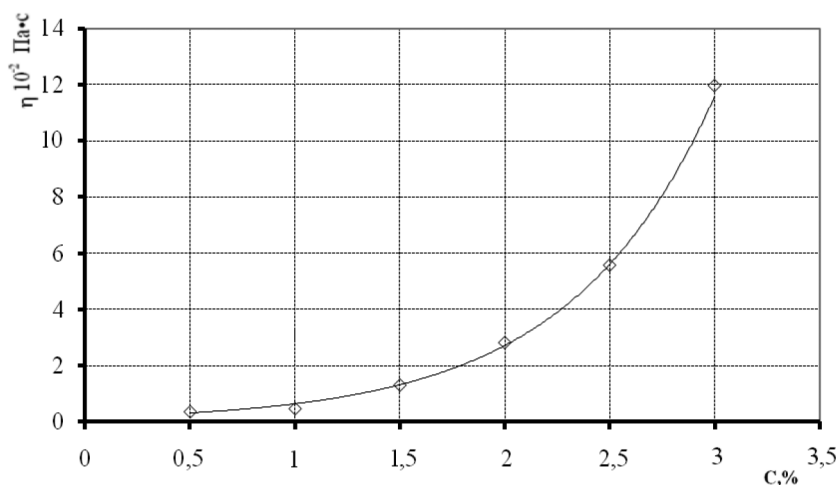


Рис. 12. Ефективна в'язкість водних розчинів пектину за різних концентрацій (C) пектину ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, швидкість зсуву 69 s^{-1})

здатність, поверхневий натяг, ефективну в'язкість їх розчинів у різних середовищах. При взаємодії гуміарабіку у концентрації 1–6 % і пектину 0,5–2 % з рідиною відбувається їхнє набрякання і розчинення, що в свою чергу супроводжується зниженням поверхневого натягу розчинів, що полегшує диспергування поверхневих систем. За низьких концентрацій (пектини до 2 % і гуміарабік до 6 %) утворені розчини можна охарактеризувати скоріше як ньютонівські рідини оскільки вони не змінюють свою в'язкість за різних значень швидкостей зсуву. Гідратацію полісахаридів (пектину, гуміарабіку) можна умовно поділити на два етапи. Перший етап характеризується наростанням ефективної в'язкості водних розчинів до максимальних значень (максимальні підйоми ділянок кривих), другий

етап – досягнення системами відносно постійних значень ефективної в'язкості. Встановлено середню швидкість гідратації полісахаридів: підвищення в'язкості водних систем пектину і гуміарабіку залежно від концентрації характеризується середньою швидкістю набрякання і розчинення

Аналіз отриманих залежностей свідчить, що процес розчинення досліджуваних полімерів відбувається з різною швидкістю і залежить від концентрації полісахаридів. Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що процес утворення рівноважних систем «полісахарид – вода» при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ достатньо тривалий $14.4 \cdot 10^3$ – $18 \cdot 10^3$ с, що ставить завдання інтенсифікації процесів гідратації. Підвищення швидкості утворення рівноважних систем пектину з підвищенням температури можна пояснити руйнуванням водневих зв'язків, в результаті сегменти макромолекул стають рухливішими, внаслідок чого збільшується швидкість їх розчинення. При збільшенні концентрації полісахаридів спостерігається загальна тенденція до збільшення ефективної в'язкості, за однакових концентрацій пектин утворює розчини з більшими значеннями ефективної в'язкості, ніж гуміарабік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Igor Dudarev, Oleh Kuzmin, Nataliia Stukalska etc. (2024). Using oat milk to reduce the caloric value of a functional mayonnaise sauce. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 23(1), 29–38.
2. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення : монографія; у 2 ч. Ч. 1 / О. І. Черевко, М. І. Пересічний, С. М. Пересічна [та ін.]. 4-те вид., переробл. та допов. Харків : ХДУКТ, 2017. 962 с.
3. Бал-Прилипка, Л. В., & Слободянюк, Н. М. (2021). Вплив гідроколоїдів на стабільність емульсійних соусів: Реологічний підхід. *Харчова наука і технологія*, 15(2), 45–52.
4. Кравченко, М. Ф., & Ярошенко, О. В. (2022). Розробка технології соусів із використанням рослинних дієтичних добавок. *Технології харчової промисловості*, 18(1), 33–39.
5. Пономаренко, Н. В., & Литвиненко, О. О. (2023). Реологічні властивості низькожирних соусів із модифікованими крохмаллями. *Вісник Національного університету харчових технологій*, 29(3), 67–74.
6. Шевченко, І. М. (2020). Застосування ротаційної віскозиметрії для дослідження стабільності соусів із функціональними добавками. *Наукові записки Державного біотехнологічного університету*, 12(4), 88–95.
7. Chen, J., Liu, Y., & Zhang, Q. (2021). Effects of xanthan gum on the rheological properties and stability of low-fat sauces. *Food Hydrocolloids*, 112, 106345. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106345>
8. Gómez, M., & Martínez, M. M. (2020). Inulin and pectin as dietary fiber sources in sauce formulations: Impact on thixotropic behavior and syneresis. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2945–2953. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04325-7>
9. Li, X., Wang, H., & Xu, Z. (2022). Synergistic effects of soy protein and pectin on the viscoelastic properties of emulsion-based sauces. *Food Chemistry*, 371, 131112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131112>
10. Mason, R., & Stokes, J. R. (2023). Oscillatory rheometry and microrheology in the analysis of sauce texture: The role of cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 298, 120076. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120076>
11. Patel, S., & Goyal, A. (2019). Beta-glucans and modified starches as fat replacers in sauces: Rheological and sensory implications. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1456–1468. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1656234>

REFEREINCES:

1. Igor Dudarev, Oleh Kuzmin, Nataliia Stukalska etc. (2024). Using oat milk to reduce the caloric value of a functional mayonnaise sauce. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 23(1), 29–38.
2. Cherevko, O. I., Peresichnyi, M. I., Peresichna, S. M., & others. (2017). Innovative technologies of functional food products: Monograph (Part 1) (4th ed., revised and expanded). Kharkiv : KhDUKT. 962 p.
3. Bal-Prylypko, L. V., & Slobodianyuk, N. M. (2021). Influence of hydrocolloids on the stability of emulsion sauces: A rheological approach. *Food Science and Technology*, 15(2), 45–52.
4. Kravchenko, M. F., & Yaroshenko, O. V. (2022). Development of sauce technology using plant-based dietary additives. *Food Industry Technologies*, 18(1), 33–39.
5. Ponomarenko, N. V., & Lytvynenko, O. O. (2023). Rheological properties of low-fat sauces with modified starches. *Bulletin of the National University of Food Technologies*, 29(3), 67–74.
6. Shevchenko, I. M. (2020). Application of rotational viscometry to study the stability of sauces with functional additives. *Scientific Notes of the State Biotechnological University*, 12(4), 88–95.
7. Chen, J., Liu, Y., & Zhang, Q. (2021). Effects of xanthan gum on the rheological properties and stability of low-fat sauces. *Food Hydrocolloids*, 112, 106345. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106345>
8. Gómez, M., & Martínez, M. M. (2020). Inulin and pectin as dietary fiber sources in sauce formulations: Impact on thixotropic behavior and syneresis. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2945–2953. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04325-7>
9. Li, X., Wang, H., & Xu, Z. (2022). Synergistic effects of soy protein and pectin on the viscoelastic properties of emulsion-based sauces. *Food Chemistry*, 371, 131112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131112>
10. Mason, R., & Stokes, J. R. (2023). Oscillatory rheometry and microrheology in the analysis of sauce texture: The role of cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 298, 120076. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120076>
11. Patel, S., & Goyal, A. (2019). Beta-glucans and modified starches as fat replacers in sauces: Rheological and sensory implications. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1456–1468. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1656234>