

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2026-16-1-3>

УДК 664.14:658.52.011.56:007.52

Г. В. Дейниченко¹, д-р техн. наук, професор
Д. В. Дмитревський^{1,2}, д-р техн. наук, доцент
Д. О. Гончар¹, аспірант
В. В. Лавренюк¹, здобувач вищої освіти

ORCID: 0000-0003-3615-8339

ORCID: 0000-0003-1330-7514

ORCID: 0009-0006-8808-6161

ORCID: 0009-0001-1454-9657

¹ Державний біотехнологічний університет² Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: dmitrevskyidv@gmail.com

АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ОСВІТЛЕННІ СОКІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. У статті проаналізовано закономірності ультрафільтрації при освітленні фруктових соків з урахуванням впливу селективності мембран, трансмембранного тиску, гідродинамічних умов та фізико-хімічних властивостей сировини на ефективність процесу. Показано, що основними факторами зниження продуктивності є концентраційна поляризація та мембранне забруднення, механізми яких мають багатофакторний характер. Узагальнено сучасні наукові підходи до моделювання ультрафільтрації та оптимізації технологічних режимів. Обґрунтовано напрями подальших експериментальних досліджень, спрямованих на підвищення стабільності процесу та якості освітленого соку. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення мембранних технологій у харчовій промисловості та розроблення раціональних режимів промислової ультрафільтрації.

Ключові слова: ультрафільтрація, освітлення соків, мембранні процеси, фруктові соки, селективність мембран, трансмембранний тиск, продуктивність мембрани, мембранне забруднення, гідродинамічні умови, технологічні параметри.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток харчової промисловості характеризується зростанням вимог до якості, безпечності та стабільності готової продукції, зокрема фруктових соків. Споживачі надають перевагу натуральним продуктам із мінімальною термічною обробкою, збереженими біологічно активними речовинами та привабливими органолептичними показниками. У цьому контексті особливого значення набувають мембранні процеси, серед яких ультрафільтрація займає провідне місце як ефективний метод освітлення соків без застосування допоміжних фільтрувальних матеріалів і жорстких температурних режимів.

Ультрафільтрація є баромембранним процесом, що реалізується під дією трансмембранного тиску та забезпечує розділення компонентів за розміром і частково за молекулярною масою. Використання цього методу при освітленні фруктових соків дозволяє видаляти завислі частинки, колоїдні сполуки, пектинові речовини та високомолекулярні комплекси, зберігаючи при цьому низькомолекулярні біологічно цінні компоненти. Завдяки цьому ультрафільтрація розглядається як альтернатива традиційним методам освітлення, таким як ферментативна обробка та фільтрація з використанням кізельгуру чи інших допоміжних матеріалів [1].

Разом із тим, впровадження ультрафільтрації у промислові технології освітлення соків супроводжується низкою невирішених науково-практичних проблем. Однією з ключових є зниження продуктивності мембрани внаслідок розвитку мембранного забруднення (фоулінгу). У процесі фільтрації на поверхні та в порах мембрани накопичуються макромолекули, коло-



їдні частинки, білково-пектинові комплекси, що призводить до зменшення питомого потоку пермеату та зміни селективності мембран. Це ускладнює прогнозування технологічних показників процесу та знижує економічну ефективність виробництва [2].

Складність проблеми посилюється багатокомпонентністю та варіабельністю складу фруктових соків, що залежить від виду сировини, ступеня зрілості плодів, умов переробки та попередньої обробки. Гідродинамічні умови в каналах мембранних модулів, значення трансмембранного тиску, температура, швидкість тангенціального потоку та інші технологічні параметри істотно впливають на інтенсивність масопереносу та характер формування поляризаційного шару. Водночас відсутність узагальнених закономірностей, що описують взаємозв'язок між зазначеними факторами та кінетикою зниження продуктивності, обмежує можливості оптимізації процесу [3].

Незважаючи на наявність численних досліджень у галузі мембранних процесів, питання комплексного аналізу закономірностей ультрафільтрації при освітленні соків з урахуванням селективності мембран, механізмів фоулінгу, гідродинамічних умов та параметрів масопереносу залишаються недостатньо систематизованими. Особливої актуальності набуває розроблення адекватних моделей процесу, що дозволяють б прогнозувати зміну продуктивності мембрани та якісних показників пермеату залежно від режимних параметрів [4].

Таким чином, постає науково-практична проблема встановлення закономірностей ультрафільтрації при освітленні фруктових соків та визначення раціональних напрямів експериментальних досліджень, спрямованих на підвищення ефективності процесу, зниження інтенсивності мембранного забруднення та забезпечення стабільної якості готової продукції. Вирішення цієї проблеми потребує комплексного підходу, що поєднує теоретичний аналіз механізмів масопереносу, експериментальне дослідження впливу технологічних параметрів та моделювання процесу з урахуванням реальних виробничих умов.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз сучасних наукових досліджень у сфері ультрафільтрації при освітленні фруктових соків свідчить про зростання інтересу до цього напрямку як з боку науковців, так і з боку виробників харчової продукції [5]. Ультрафільтрація розглядається як одна з найбільш перспективних баромембранних технологій, що дозволяє забезпечити ефективне видалення колоїдних частинок, пектинових речовин, білково-полісахаридних комплексів і механічних домішок без суттєвого впливу на низькомолекулярні біологічно активні компоненти соку. Останні дослідження зосереджені на виявленні закономірностей масопереносу, вивченні механізмів формування концентраційної поляризації, аналізі причин зниження продуктивності мембран та розробленні підходів до моделювання процесу з урахуванням реальних технологічних умов [6].

У наукових роботах останніх років значна увага приділяється дослідженню механізмів масопереносу при ультрафільтрації складних багатокомпонентних систем, до яких належать фруктові соки. Встановлено, що інтенсивність переносу розчинених і дисперсних компонентів визначається не лише характеристиками мембрани, зокрема розміром пор і молекулярно-масовою відсічкою, а й фізико-хімічними властивостями самого соку – в'язкістю, вмістом пектину, ступенем дисперсності частинок, наявністю білково-полісахаридних агрегатів [7]. Дослідники підкреслюють, що в процесі фільтрації поблизу поверхні мембрани формується шар підвищеної концентрації високомолекулярних сполук, який створює додатковий опір масопереносу [8]. Це явище концентраційної поляризації істотно впливає на величину питомого потоку пермеату та зумовлює відхилення реальних показників продуктивності від теоретично розрахованих значень [9].

Особливу увагу приділено дослідженню мембранного забруднення (фоулінгу), яке визнано основним фактором зниження ефективності ультрафільтрації соків. У сучасних роботах фоулінг розглядається як багатостадійний процес, що включає адсорбцію органічних молекул на



поверхні мембрани, закупорювання пор та формування гелеподібного шару. Показано, що пектинові речовини, характерні для фруктових соків, відіграють ключову роль у формуванні стійких структур на поверхні мембрани, які важко піддаються видаленню під час стандартних процедур промивання [10]. Дослідження також свідчать, що білки та фенольні сполуки можуть взаємодіяти між собою, утворюючи комплекси, які додатково ускладнюють процес фільтрації. У зв'язку з цим науковці активно досліджують вплив попередньої ферментативної обробки соку, спрямованої на руйнування пектинових структур, що дозволяє знизити інтенсивність фоулінгу та стабілізувати продуктивність мембрани [11].

Важливим напрямом досліджень є вивчення впливу технологічних параметрів на ефективність процесу. Експериментальні дані підтверджують, що трансмембранний тиск суттєво впливає на величину потоку пермеату, проте залежність має нелінійний характер [12]. На початкових етапах підвищення тиску супроводжується зростанням продуктивності, однак після досягнення певного критичного значення подальше збільшення тиску призводить до ущільнення гелевого шару і прискорення фоулінгу. Аналогічно встановлено, що швидкість тангенціального потоку визначає інтенсивність зсувних напружень на поверхні мембрани, що сприяє частковому руйнуванню поляризаційного шару та зменшенню товщини відкладень. Разом з тим підвищення швидкості потоку пов'язане зі зростанням енергетичних витрат, тому актуальним залишається питання оптимізації гідродинамічних умов [13].

Суттєвий інтерес у сучасних дослідженнях викликає проблема селективності мембран та вибору їх матеріалу. Порівняльні випробування полімерних мембран різного складу показали, що гідрофільність поверхні відіграє важливу роль у зменшенні адсорбції органічних компонентів. Розробляються мембрани з модифікованими поверхнями, нанокомпозитні структури та покриття, які покликані зменшити схильність до забруднення. Водночас результати свідчать, що підвищення гідрофільності не завжди гарантує довготривалу стабільність характеристик, оскільки склад соків є змінним і включає широкий спектр компонентів, здатних до взаємодії з матеріалом мембрани.

Окрему групу досліджень становлять роботи, присвячені математичному моделюванню процесу ультрафільтрації. Сучасні підходи передбачають використання як емпіричних залежностей, так і більш складних моделей, що враховують гідродинаміку потоку, дифузійні процеси та кінетику формування забруднюючого шару. Запропоновано моделі, які описують зміну питомого потоку в часі з урахуванням зростання гідравлічного опору мембрани та шару відкладень. Разом з тим наголошується, що універсальної моделі, придатної для різних видів соків і різних мембран, наразі не існує. Це зумовлено складністю фізико-хімічних взаємодій у системі «сік – мембрана» та впливом великої кількості змінних факторів [14].

Аналіз останніх досліджень також демонструє тенденцію до комплексного підходу, коли експериментальні дані поєднуються з методами чисельного моделювання для прогнозування поведінки системи за змінних режимів роботи. Водночас значна частина робіт має прикладний характер і орієнтована на конкретні види соків, що ускладнює формування узагальнених закономірностей. Багато дослідників підкреслюють необхідність подальшого систематичного вивчення впливу складу сировини, гідродинамічних умов та режимних параметрів на селективність мембран, інтенсивність масопереносу та кінетику фоулінгу [15].

Отже, проведений аналіз свідчить, що попри суттєвий прогрес у дослідженні ультрафільтрації при освітленні соків, низка аспектів залишається недостатньо вивченою. Зокрема, потребують уточнення кількісні закономірності взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу та динамікою зміни продуктивності мембрани, а також розроблення адаптивних моделей, здатних враховувати багатфакторний характер системи. Це обумовлює необхідність подальших експериментальних досліджень, спрямованих на встановлення узагальнених закономір-



ностей ультрафільтрації та обґрунтування раціональних режимів освітлення фруктових соків у промислових умовах.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою статті є встановлення основних закономірностей ультрафільтрації при освітленні фруктових соків з урахуванням впливу селективності мембран, трансмембранного тиску, гідродинамічних умов та фізико-хімічних властивостей сировини на продуктивність процесу й інтенсивність мембранного забруднення. Для досягнення поставленої мети передбачається проаналізувати сучасні теоретичні та експериментальні підходи, узагальнити наявні наукові дані та визначити пріоритетні напрями подальших експериментальних досліджень і вдосконалення моделювання процесу ультрафільтрації.

Основна частина. Основна частина дослідження присвячена системному аналізу закономірностей ультрафільтрації при освітленні фруктових соків з урахуванням фізико-хімічної природи сировини, характеристик мембран, гідродинамічних умов та технологічних параметрів процесу. Ультрафільтрація як баромембранний процес реалізується під дією трансмембранного тиску, що забезпечує проходження розчинника та низькомолекулярних компонентів через напівпроникну мембрану і затримання високомолекулярних сполук та дисперсних частинок. Однак для багатокомпонентних систем, якими є фруктові соки, механізм розділення суттєво ускладнюється через наявність колоїдних структур, пектинових речовин, білково-полісахаридних комплексів та фенольних сполук, які здатні взаємодіяти між собою та з поверхнею мембрани.

Однією з ключових закономірностей процесу є залежність питомого потоку пермеату від трансмембранного тиску. На початковому етапі фільтрації спостерігається майже лінійна залежність між тиском і продуктивністю, що відповідає класичним уявленням про гідравлічний опір мембрани. Проте зі збільшенням тривалості процесу і концентрації затриманих компонентів поблизу поверхні мембрани формується шар концентраційної поляризації, який створює додатковий опір. У результаті залежність набуває нелінійного характеру, а після досягнення певного критичного тиску подальше його підвищення не забезпечує істотного приросту продуктивності. Більше того, надмірний тиск може сприяти ущільненню гелеподібного шару, що призводить до зниження потоку та посилює мембранне забруднення.

Формування концентраційної поляризації є наслідком дисбалансу між конвективним переносом частинок до поверхні мембрани та їх зворотною дифузією в об'єм потоку. Інтенсивність цього явища визначається коефіцієнтами дифузії компонентів, в'язкістю середовища та гідродинамічними умовами. У випадку соків, що містять значну кількість пектину, спостерігається схильність до утворення в'язкопружних структур, які додатково перешкоджають зворотній дифузії і сприяють накопиченню відкладень. Таким чином, закономірності масопереносу при ультрафільтрації соків не можуть бути адекватно описані без урахування структуроутворення в прикордонному шарі.

Важливим аспектом є селективність мембран, яка визначається їх молекулярно-масовою відсічкою та морфологією пор. Для освітлення соків зазвичай застосовують мембрани з відсічкою в діапазоні, що забезпечує затримання високомолекулярних пектинових і білкових фракцій при збереженні цукрів, органічних кислот і ароматичних компонентів у пермеаті. Разом із тим реальна селективність може відрізнятися від номінальної через часткове закупорювання пор та зміну ефективного діаметра проходів у процесі експлуатації. У міру розвитку фоулінгу спостерігається зменшення проникності та зміна коефіцієнтів затримання, що впливає на стабільність якісних показників освітленого соку.

Мембранне забруднення є багатофакторним явищем, яке включає адсорбційні, колоїдні та гелеві механізми. На початковій стадії фільтрації відбувається швидка адсорбція органічних молекул на внутрішніх стінках пор, що зумовлює зростання гідравлічного опору. Надалі фор-



мується шар відкладень на поверхні мембрани, який поступово ущільнюється під дією тиску. Для фруктових соків характерною є наявність білково-пектинових комплексів, що здатні утворювати просторові сітки з високою водоутримувальною здатністю. Такі структури формують гелеподібний шар, який стає основним джерелом опору масопереносу. Кінетика зниження продуктивності в цьому випадку має виражений часовий характер: після різкого падіння потоку на початку процесу спостерігається відносно повільна стадія стабілізації, що відповідає квазі-стаціонарному стану між накопиченням і зсувним руйнуванням відкладень.

Гідродинамічні умови істотно впливають на інтенсивність формування поляризаційного та гелевого шарів. Використання тангенціального потоку дозволяє створити зсувні напруження на поверхні мембрани, які частково руйнують відкладення та зменшують їх товщину. Зі збільшенням швидкості потоку зростає коефіцієнт масопереносу, що сприяє зниженню концентрації компонентів у прикордонному шарі. Проте надмірне підвищення швидкості пов'язане зі зростанням енергетичних витрат і можливими гідродинамічними коливаннями, що впливають на стабільність процесу. Тому одним із напрямів досліджень є визначення оптимального співвідношення між трансмембранним тиском і швидкістю тангенціального потоку, яке забезпечує максимальну продуктивність за мінімального розвитку фоулінгу.

Температурний фактор також має значення для закономірностей ультрафільтрації. Підвищення температури зменшує в'язкість соку та збільшує коефіцієнти дифузії, що позитивно впливає на інтенсивність масопереносу. Водночас занадто високі температури можуть спричинити денатурацію білків або зміну структури пектину, що потенційно посилює фоулінг. Отже, вибір температурного режиму має враховувати як фізичні, так і хімічні аспекти стабільності системи.

Суттєву роль у формуванні закономірностей процесу відіграє попередня обробка соку. Ферментативний гідроліз пектинових речовин зменшує середню молекулярну масу полімерів і знижує схильність до гелеутворення. Це призводить до зменшення товщини відкладень і підвищення стабільності потоку пермеату. Разом із тим надмірна ферментативна обробка може вплинути на структурні та органолептичні властивості продукту, тому оптимізація цього етапу потребує окремого експериментального обґрунтування.

Математичний опис процесу ультрафільтрації соків ґрунтується на концепції сумарного гідравлічного опору, що включає опір чистої мембрани та опір шару відкладень. У загальному випадку питома продуктивність визначається співвідношенням між рушійною силою (різницею тисків) і сумарним опором системи. Проте для реальних соків необхідно враховувати зміну опору в часі, а також залежність від концентрації та властивостей компонентів. Перспективним є використання динамічних моделей, які дозволяють прогнозувати поведінку системи при зміні режимів роботи, а також застосування методів чисельного моделювання для аналізу розподілу швидкостей і концентрацій у каналах мембранних модулів.

Експериментальні дослідження показують, що стабільність процесу може бути підвищена шляхом комбінування різних технологічних прийомів: оптимізації тиску, регулювання швидкості потоку, періодичного зниження навантаження або впровадження імпульсних режимів. У деяких випадках застосування циклічних змін тиску сприяє частковому руйнуванню гелевого шару та відновленню проникності мембрани. Такі підходи дозволяють продовжити робочий цикл без проведення повного очищення.

Окремим напрямом є дослідження матеріалів мембран та модифікації їх поверхні. Підвищення гідрофільності зменшує адсорбцію гідрофобних компонентів, а створення наноструктурованих поверхонь може впливати на характер взаємодії з колоїдними частинками. Разом із тим довготривала експлуатація мембран у харчових середовищах потребує оцінки їх хімічної та механічної стійкості, що також має враховуватися при визначенні напрямів експериментальних досліджень.

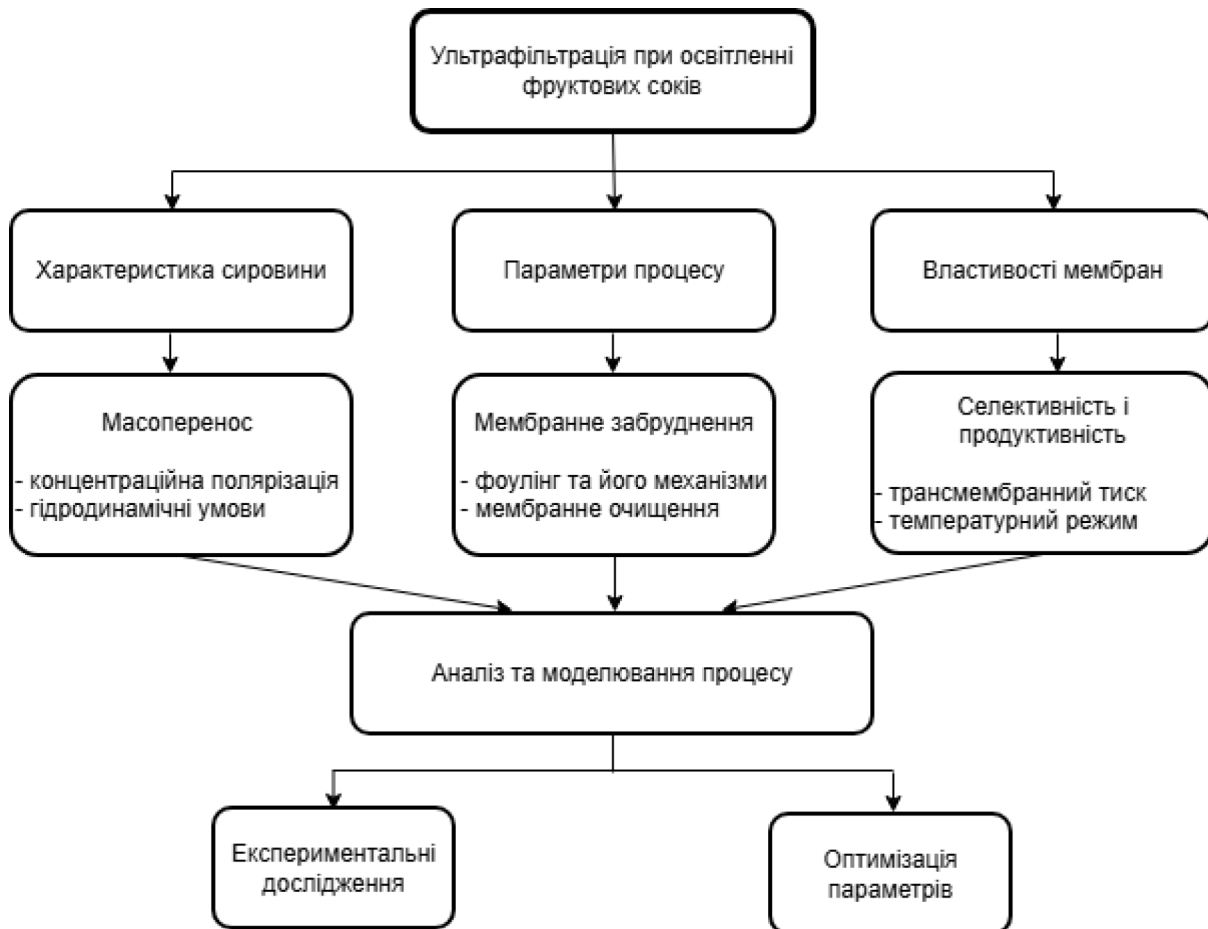


Рис. 1. Блок-схема встановлення закономірностей ультрафільтрації при освітленні фруктових соків та визначення напрямів експериментальних досліджень

На рисунку 1 представлена блок-схема встановлення закономірностей ультрафільтрації при освітленні фруктових соків та визначення напрямів експериментальних досліджень

Схема відображає структурно-логічний взаємозв'язок між основними чинниками, що визначають закономірності ультрафільтрації при освітленні фруктових соків. У ній узагальнено вплив характеристик сировини, параметрів процесу та властивостей мембран на інтенсивність масопереносу, селективність, продуктивність і розвиток мембранного забруднення. Узгодження цих факторів формує основу для аналізу та моделювання процесу, проведення експериментальних досліджень і подальшої оптимізації технологічних параметрів ультрафільтрації.

Аналіз сукупності закономірностей ультрафільтрації при освітленні соків дозволяє сформулювати ключові фактори, що визначають ефективність процесу: фізико-хімічний склад соку, характеристики мембрани, трансмембранний тиск, швидкість тангенціального потоку, температура та тривалість фільтрації. Їх взаємодія має нелінійний характер, що ускладнює пряме масштабування лабораторних результатів на промислові умови. У зв'язку з цим актуальним є проведення комплексних експериментальних досліджень із варіюванням кількох параметрів одночасно та використанням методів математичного планування експерименту.

Таким чином, встановлення закономірностей ультрафільтрації при освітленні фруктових соків потребує поєднання експериментального аналізу, теоретичного узагальнення та моделювання процесу. Глибоке розуміння механізмів масопереносу та фоулінгу дозволить обґрунтувати раціональні режими роботи мембранних установок, підвищити їх продуктивність і забезпечити стабільну якість готового продукту. Подальші дослідження мають бути спрямовані на

кількісну оцінку впливу окремих факторів і розроблення інтегрованих підходів до оптимізації технологічних параметрів ультрафільтрації в умовах реального виробництва.

Висновки. Проведений аналіз закономірностей ультрафільтрації при освітленні фруктових соків засвідчив, що ефективність процесу визначається комплексною взаємодією фізико-хімічних властивостей сировини, характеристик мембрани та технологічних параметрів, зокрема трансмембранного тиску і гідродинамічних умов. Встановлено, що ключовими факторами зниження продуктивності є концентраційна поляризація та мембранне забруднення, механізми яких мають багатофакторний характер. Обґрунтовано доцільність поєднання експериментальних досліджень і математичного моделювання для прогнозування поведінки системи та визначення раціональних режимів роботи. Отримані узагальнення створюють підґрунтя для подальшої оптимізації процесу ультрафільтрації у промислових умовах.

Список використаних джерел

1. Bhattacharjee C., Saxena V. K., Dutta S. Fruit juice processing using membrane technology: a review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017. 43, 136–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.002>
2. Lu C., Bao Y., Huang J. Y. Fouling in membrane filtration for juice processing. *Current Opinion in Food Science*. 2021. 42, 76–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.004>
3. Li F., Yan H., Li W., Zhao J., Ming J. A comparative study of the effects of ultrafiltration membranes and storage on mulberry juice. *Journal of Food Science*. 2019. 84(12), 3565–3572. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14935>
4. Deynychenko G., Dmytrevskiy D., Honchar D., Piddubnyi O., Lavreniuk V. Technical review and intellectual property aspects of innovative membrane technologies in juice production. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. Харків : ДБТУ, 2025. – Вип. 1 (37). С. 164–173. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18154526>
5. Bhattacharjee C., Saxena V. K., Dutta S. Watermelon juice concentration using ultrafiltration: analysis of sugar and vitamin C. *Food Science and Technology International*. 2017. 23(7), 637–645. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12345>
6. Gulec H. A., Bagci P. O., Bagci U. Clarification of apple juice using polymeric ultrafiltration membranes: membrane fouling and juice quality. *Food and Bioprocess Technology*. 2017. 10(5), 875–885. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1871-x>
7. Deynychenko G., Guzenko V., Dmytrevskiy D., Chervonyi V., Kolisnichenko T., Omelchenko O., Nykyforov, R. Study of the new method to intensify the process of extraction of beet pulp. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 4(11–94), 15–20. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140126>
8. De Bruijn, J., Bórquez R. Analysis of fouling mechanisms during cross-flow ultrafiltration of apple juice. *LWT – Food Science and Technology*. 2006. 39(8), 861–871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.06.014>
9. Echavarría A. P., Torras C., Pagán J., Ibarz, A. Fruit juice processing and membrane technology application. *Food Engineering Reviews*. 2011. 3(3), 136–158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9042-8>
10. Fukumoto L. R., Delaquis P., Girard B. Microfiltration and ultrafiltration ceramic membranes for apple juice clarification. *Journal of Food Science*. 1998. 63(5), 845–850. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb17912.x>
11. Deynichenko G., Dmytrevskiy D., Guzenko V., Omelchenko O., Perekrest V. Prospects of using equipment for membrane separation of food liquids. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. Вип. 13, том 2. С. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-12>
12. Ortega-Rivas A., et al. Effect of membrane pore size on quality of ultrafiltered apple juice. *International Journal of Food Science & Technology*. 2001. 36(6), 663–670. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00663.x>
13. Deynichenko G., Dmytrevskiy D., Honchar D., Chervonyi V., Horielkov D. Review and analysis of membrane juice processing in food industry enterprises. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 25, т. 2. С. 148–156. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-18>



14. Katibi K. K., Mohd Nor N., Yunus K. F. Strategies to enhance membrane processing for fruit juice clarification. *Membranes*. 2023. 13(7), 679. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes13070679>
15. Deynichenko G., Dmytrevskiy D., Honchar D., Pidubnyi O., Lavreniuk V. Increasing the efficiency of the membrane filtration process in the production of fruit and berry juices. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 15, том 2. С. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-1>
16. Girard B., Fukumoto L. R. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2000. 40(2), 91–157. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408690091189293>
17. Deynichenko G., Dmytrevskiy D., Honchar D. Membrane processing of apple juice as an innovative direction in the food industry. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 25, т. 3. С. 190–197. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-25>

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 18.05.2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



G. Deynichenko¹, D. Dmytrevskiy^{1,2}, D. Honchar¹, V. Lavreniuk¹
¹ State Biotechnological University, Kharkiv
² Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

ANALYSIS OF ULTRAFILTRATION PATTERNS DURING JUICE ILLUMINATION AND DETERMINATION OF DIRECTIONS FOR EXPERIMENTAL RESEARCH

Summary

The article is devoted to the analysis of ultrafiltration regularities in the clarification of fruit juices with special attention to the influence of membrane selectivity, transmembrane pressure, hydrodynamic conditions and physicochemical properties of raw materials on process efficiency. Ultrafiltration is considered one of the most promising membrane technologies for juice clarification, enabling the removal of colloidal particles, pectic substances and high-molecular compounds while preserving valuable low-molecular components. However, practical implementation of the process is complicated by phenomena of concentration polarization and membrane fouling, which lead to a gradual decrease in permeate flux and changes in membrane selectivity. The study summarizes modern scientific approaches to describing mass transfer mechanisms and modeling ultrafiltration processes. It is shown that the formation of a polarization layer near the membrane surface creates additional resistance to mass transfer, and its thickness depends on hydrodynamic conditions and the composition of the juice. High concentrations of pectin and protein-polysaccharide complexes promote the formation of gel-like structures that intensify fouling and reduce productivity. Transmembrane pressure has a nonlinear effect on permeate flux: an initial increase in pressure enhances productivity, whereas further growth leads to compaction of the fouling layer and stabilization or even reduction of the flux. The influence of temperature, tangential flow velocity and membrane material properties on process stability is also considered. The necessity of combining experimental studies with mathematical modeling is substantiated to predict process behavior and determine optimal operating regimes. Directions for further research include quantitative evaluation of the impact of individual technological parameters, development of adaptive models that account for the multifactor nature of ultrafiltration, and experimental validation of optimal operating conditions. The obtained results can be applied to improve membrane technologies in the food industry, increase the efficiency of juice clarification and ensure stable product quality in industrial production.

Keywords: ultrafiltration, juice clarification, membrane processes, fruit juices, membrane selectivity, transmembrane pressure, membrane performance, membrane fouling, hydrodynamic conditions, technological parameters.