

С. І. БУХКАЛО, О. І. ОЛЬХОВСЬКА, М. М. ЗІПУННИКОВ, В. О. ОЛЬХОВСЬКА, М. А. СІРКУ

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕГЕНЕРАЦІЇ ЕТИЛОВОГО СПИРТУ У ВИРОБНИЦТВІ ПЕКТИНУ

У матеріалах статті розглянуті можливості для визначення загальної технології, процесів і апаратів стадії регенерації етилового спирту у виробництві пектину. Розробки проведені з метою вибору сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій регенерації: 1) різновидів технології та їх закономірностей з урахуванням специфічних особливостей стадій регенерації; 2) на різних стадіях проектування і обґрунтування моделей устаткування. Представлені приклади і деякі особливості можливих рішень, які засновані на експериментальних даних розробки механізмів процесів і їх наукового обґрунтування у вигляді об'єктів технології. Проблема регенерації етилового спирту розглядається у вигляді складних комплексних процесів, їх досліджень, аналізу енерго- і ресурсозберігаючих складових.

Ключові слова: технологія пектину; регенерація етилового спирту; науково обґрунтовані методи.

С. И. БУХКАЛО, О. И. ОЛЬХОВСКАЯ, Н. Н. ЗИПУННИКОВ, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ, М. А. СЫРКУ

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ЭТИЛОВОГО СПИРТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕКТИНА

В материалах статьи рассмотрены возможности для определения общей технологии, процессов и аппаратов стадии регенерации этилового спирта в производстве пектина. Разработки проведены с целью выбора современных высокоэффективных научно-обоснованных технологий регенерации: 1) разновидностей технологии и их закономерностей с учетом специфических особенностей стадий регенерации; 2) на различных стадиях проектирования и обоснования моделей оборудования. Представлены примеры и некоторые особенности возможных решений, которые основаны на экспериментальных данных разработки механизмов процессов и их научного обоснования в виде объектов технологии. Проблема регенерации этилового спирта рассматривается в виде сложных комплексных процессов, их исследований и анализа энерго- и ресурсосберегающих составляющих.

Ключевые слова: технология пектина; регенерация этилового спирта; научно обоснованные методы.

S. I. BUKHALO, O. I. OLKHOVSKA, M. M. ZIPUNNIKOV, V. O. OLKHOVSKA, M. A. SYRKU

ANALYSIS THE POSSIBILITIES OF REGENERATION ETHYL ALCOHOL IN PECTIN PRODUCTION

The materials presented of innovative development opportunities determining the general technology, processes and apparatus of the ethyl alcohol regeneration stage in pectin production. The developments have been carried out with the aim of selecting modern highly efficient science-based regeneration technologies: 1) types of technology and their regularities, taking into account specific features of regeneration stages; 2) at different stages of design and justification of equipment models. Examples and some features of possible solutions are presented, which are based on experimental data of the development of process mechanisms and their scientific substantiation in the form of objects of technology. The materials are devoted to the results of researches of properties of technical and technological innovations of modern systems as object studies the possibility of complex properties in the development system increasing the economic efficiency of new sources. A review of the literature and the necessary articles written on the subject: as technologies and economies develop and become more complex, energy needs increase greatly; types and evidence-based methods of new material resource, as well as the possibility of calculating the basic set of main economic indicators are classified; identified possible areas of work in obtaining the necessary information and results.

Keywords: pectin technology; regeneration of ethyl alcohol; scientifically sound methods.

Вступ. Виробництво пектину – динамічно зростаючий багатотоннажний бізнес з щорічним приростом на 3–4%. Потреба у пектині загалом велика, особливо на забруднених радіонуклідами землях України – спостерігається стабільне зростання обсягу споживання пектину в країні. Цьому сприяє існуюча в інших країнах індустрія пектину, що дозволяє одержувати всілякі його модифікації. Але, нажаль, можна констатувати, що власне виробництво пектину в Україні, практично, відсутнє – увесь пектин, представлений на нашому ринку – імпортований. Пектинові речовини в великих або менших обсягах містяться у багатьох частинах рослин – в листах, стеблах, коріннях, плодах та насінні. Локалізовані вони в різних частинах рослинної клітини та виконують різні функції. Розчинний пектин міститься у клітинному соку, соку вакуолей, міжклітинній тканині, а також є запасною речовиною. Пектинові речовини мають велике значення при зберіганні та консервуванні рослинних продуктів.

Під дією пектолітичних ферментів та не ферментативних гідролітичних процесів нерозчинні форми пектинів переходять у розчинні, в результаті чого в процесі дозрівання, зберігання плодів та овочів, та їх промислової переробки тканина розм'якшується [1–7, 14]. Промислові види пектинів класифікують за ступенем етерифікації (СЕ) – відношенню кількості метоксильних груп до всіх кислотних залишків у молекулі на дві групи:

1) високоетерифіковані – СЕ дорівнює 50 % або більше;

2) низькоетерифіковані – СЕ менш ніж 50%.

Найвища СЕ, яка може бути досягнута при екстракції пектину з природної сировини, перебуває у межах 75–80%. Пектинові речовини, отримані з різних рослинних джерел, являють собою порошки без запаху і слизувати на смакові відчуття, від світло-кремового до коричневого кольору.

© Бухкало С.І., Ольховська О.І., Зіпунніков М.М., Ольховська О.І., Сірку М.А., 2019

Цитрусові пектини звичайно світліше яблучних. У вологій атмосфері пектини можуть сорбувати до 20% води. У надлишку води – розчиняються. Области застосування пектину тільки у харчовій технології мають досить різноманітні приклади: драглеутворювач при виготовленні желеино-пастильних виробів у кондитерській промисловості; добавки лікувально-профілактичної дії для деяких сортів хлібобулочних та макаронних виробів; у хлібопеченні з метою поліпшення якості хліба – для випічки сортів, що не черствіють, для виробництва конфітурів, джемів і інших видів продуктів консервної промисловості; в якості емульгатора при виготовленні майонезу та рідких маргаринів у масложировій промисловості; в якості стабілізатора при виготовленні різних купажованих соків з м'якоттю; у виготовленні морозива, йогуртів, сирів (для збільшення їх водопоглинальної здатності) та інших продуктів молочної промисловості; при вживанні в їжу у вигляді розчинів, гелів, киселів, мусів; у виготовленні дієтичного і лікувально-профілактичного харчування для дітей і дорослих у харчово-концентратній промисловості та ін.

Загальна характеристика процесу виробництва. У більшості випадків іноземні виробники для одержання пектину використовують класичну технологію. Вона базується на застосуванні сильних кислот (HCl , HNO_3 , H_3PO_4 , H_2SO_4), хлористого алюмінію, гідроокису амонію, суміші спирту з кислотою та спиртів різних концентрацій. Процес протікає при підвищених температурних режимах (45–120 °C) у кислому середовищі при pH 0,5–2,0 з коливаннями часу екстракції і гідролізу від 3 до 6 годин і загальним циклом процесу до 12 і

більше годин.

За традиційною технологією після стадії підготовки гідролізатів розчинений пектин переводять в тверду фазу, яка випадає в осад, шляхом зміни складу розчину. Для цієї мети можуть застосовуватися ряд з'єднань: етиловий спирт або солі полівалентних металів. Спиртовий метод виділення пектину ґрунтується на властивості пектину не розчинятися в етиловому спирті при концентрації останнього вище 45%. Після висадження пектин піддається, як мінімум, чотирьох кратному промиванню спиртом, очищаючись при цьому від низькомолекулярних баластних речовин, спиртонеосаджених полісахаридів з низькою молекулярною масою. При спиртовому осадженні пектинових речовин частина домішок, розчинених в екстракті соосаджується разом з пектином. Багаторазова промивка осаду 96 % спиртом призводить до отримання пектинового препарату з відносно високим ступенем чистоти. Отримання пектину цим методом має ряд недоліків. Так, наприклад, 1) пектиновий гідролізат отримують у вигляді розведеного розчину вмістом пектину до 0,3%, який концентрують за традиційною технологією на вакуум-випарних апаратах при тривалому нагріванні, що призводить до додаткової деструкції полімерних ланцюгів; 2) застосовується велика кількість етанолу в якості осаджувача (до 50:1); 3) енергоємна регенерація спирту ректифікацією (табл. 1: 1 – люкс; 2 – екстра; 3 – вищої очистки; 4 – першого сорту). Відзначається, що осадження пектину етиловим спиртом при рівні кислотності 1,7–1,9 дозволяє досягти найбільшого виходу.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники ректифікованого спирту

Показник	1	2	3	4
Вміст етилового спирту, %, не менше	96,3	96,5	96,2	96,0
Проба на чистоту з сірчаною кислотою	Витримує			
Проба на окиснюваність, хв при 20 °C, не менше	22	20	15	10
Масова концентрація альдегідів, в перерахунку на оцтовий, в безводному спирті, мг/л, не більше	2	2	4	10
Масова концентрація сивушного масла, в перерахунку на суміш ізоамілового та ізобутилового спиртів (3: 1), в безводному спирті, мг/л, не більше	2	3	4	15
Масова концентрація ефірів, в перерахунку на уксусноетиловий, в безводному спирті (БС), мг / л, не більше	18	25	30	50
Вміст метилового спирту, %, не більше	0,03	0,03	0,05	0,05
Масова концентрація вільних кислот (без CO_2) в БС, мг/л, не більше	8	12	15	20
Вміст фурфуролу	Не допускається			

Таблиця 2 – Фізико-хімічні властивості пектинів з різної рослинної сировини

Показник	Гарбуз	Яблука АРА 103	Яблука АРА 104	Цитруси АРА 105LV
Масова доля вологи, %	7,3	8,6	7,8	8,1
Масова доля пектинових речовин, %, *	80,8±0,4	59,1±0,5	49,5±0,1	49,4±0,3
Масова доля полігалактуронової кислоти, %, *	80,65	72,92	59,38	55,48
Масова доля фенольних речовин, мг ЕГК/г	1,04±0,05	2,41±0,01	1,48±0,01	0,014±0,02
Ступінь етерифікації, %	72,3±0,6	70,6±0,3	64,0±0,5	58,9±0,4
Динамічна в'язкість 1 % розчину при T=23 °C, сПз	37,90	18,10	12,00	7,04

Більшість підприємств, що випускають пектин за традиційною технологією у якості осаджувача використовують етиловий спирт. Така технологія виробництва пектину – у якості осаджувача – етанол, потребує наявності енергоємного відділення ректифікації спирту для його регенерації і повернення в виробничий цикл.

Однією з інноваційних технологій є ферментативний спосіб витягу пектину. Гідроліз рослинної сировини проводять за допомогою мультиензимної композиції комплексу пектолітичних ферментів, що дає можливість одержувати пектини з різними молекулярними масами: високо- і низькоетерифікованими з різними властивостями, з метою їх застосування в різних галузях народного господарства. Доцільний вибір ферментів дозволяє виділити пектин без розщеплення домішок сировини, що підвищує його якість, полегшує його очищення, збільшує вихід [267]. Така технологія вигідно відрізняється від класичної: заміна кислотного гідролізу сировини ферментативним, тобто використанням біокатализаторів, пом'якшує тепловий режим процесу (замість 95°C гідроліз протікає при 50–60 °C); зберігає біологічно-активні властивості пектину; знімає особливі вимоги до матеріалу устаткування та дозволяє використовувати стандартизоване устаткування; забезпечує сприятливі умови праці та організацію екологічно чистого проведення процесу, а також дозволяє знизити витрати на організацію виробництва.

Слід підкреслити, що незалежно від вибору способу виробництва і технології отримання пектину треба враховувати особливості фізико-хімічних властивостей пектину (таблиця 2, ДСТУ 29186–91), * – у перерахунку на фактичну масу сировини [268].

Молекула пектинових речовин у водяних розчинах перебуває в колоїдній формі, має негативний заряд і оточена полярними диполями води. Дія органічних коагулянтів зводиться до переорієнтації диполів гідратної оболонки навколо пектинових молекул на полярні молекули органічного розчинника, що приводить до звузнення гідратної оболонки й, отже, до зближення ядер колоїдів, тобто молекул пектинових речовин між собою, встановленню міжмолекулярних зв'язків і, як наслідок, до спонтанного осадження пектину з розчину. Проведені дослідження [269, 270] по добору оптимального органічного коагулянту для пектину різного походження показали перевагу використання етилового спирту, який забезпечує значне збільшення виходу пектину з необхідними фізико-хімічними показниками. Найвища драглеутворююча здатність пектину досягається при осадженні етиловим спиртом концентрацією 96 об. %. Пектин, осаджений таким спиртом, має гарні реологічні властивості, має волокнисту структуру та легко піддається пресуванню, здрибнюванню та сушінню.

Особливості застосування етилового спирту у технології. У виробництві пектину на етапі його осадження використовують велику кількість етанолу (до

100 т етанолу на 1 т товарного пектину). Після осадження відфільтрований та нейтралізований водний розчин етанолу концентрацією від 50–60 % мас. піддається регенерації перегонкою в ректифікаційних колонах. Велике значення приділяється зниженню вартості процесу перегонки шляхом пошуку його оптимальних параметрів – це одна з цілей нашої роботи.

Органічні домішки, супутні етилового спирту, зазвичай поділяють на групи відповідно до їх хімічної природою (спирти, кислоти, альдегіди, ефіри, азотисті і сірковмісні сполуки) і поведінки в процесі ректифікації (головні, проміжні, хвостові) [1–3]. Альдегіди утворюються на різних стадіях отримання етанолу: при бродінні, водно-тепловій обробці сировини, ректифікації. Практично всі альдегіди надають спирту терпкість і пекучість. Присутність в готовому продукті оцтового альдегіду супроводжується різким неприємним запахом, відповідно, пропіонового – задушливим, масляного і ізовалеріанового – гострим фруктовим. При переробці доброякісної бражки в спирт-сирці найбільше оцтового альдегіду, при використанні дефектної сировини в готовій продукції можуть з'явитися ненасичені сполуки: кротоновий альдегід і акролеїн, діацетил, що характеризуються особливо неприємним запахом і пекучим смаком. Акролеїн по хімічному впливу дуже активний і легко полімеризується з утворенням гірких смол. З карбонових сполук необхідно відзначити діацетил і ацетон, їх відносять до продуктів метаболізму дріжджів. Вони впливають на якість та органолептичні оцінки напоїв, реакційно-активні і сприяють новоутворенню домішок спирту. Вищі спирти (компоненти сивушного масла) є побічними продуктами спиртового бродіння. Неприємні задушливі і різкі сивушні тони мають бутиловий, ізобутиловий та ізоаміловий спирти. У ректифікованому спирті і горілці ці домішки мало помітні навіть при порівняно високих концентраціях (0,5–1 г/л). Складні ефіри (етилацетат, пропіловий ефір ізомаляної кислоти, ізобутиловий ефір маляної кислоти і ін.) являють собою продукт взаємодії спиртів і кислот, що містяться в бражці. Ці сполуки, що утворюються як на стадіях бродіння і дріжджегенерації, так і в колонах брагоректифікаційної установки, надають спирту невластивий фруктовий або квітковий запах. Летючі кислоти (оцтова, маляна, ізомаляної, пропіонова, валеріанова і ін.) є продуктами життєдіяльності дріжджів і інфікують бражку мікроорганізмів. Чим вище культура виробництва, тим менше кислот міститься в зрілій бражці. Незначна кількість метилового спирту може виникнути і в процесі спиртового бродіння: практично не впливає на органолептичні показники готової продукції, але має дуже високу токсичність. У напівпродуктах спиртового виробництва зустрічаються сірководень, меркаптани і тіоальдегіди. Джерелом тіоальдегідів може служити сировина, в якій містяться продукти

сульфітації. Сірководень і меркаптани мають сильний і неприємний запах, навіть їх незначний вміст різко знижує дегустаційну оцінку ректифікованого спирту. Азотисті сполуки в спиртопродуктах представлені, в основному, аміаком і амінами. Аміак є продуктом розкладання азотовмісних органічних компонентів бражки, крім того, може бути внесений в готовий продукт з парою, що надходять на обігрів ректифікаційних колон. Аміни жирного ряду являють собою алкільні похідні аміаку і подібно до нього є сильними основами. Присутність азотовмісних речовин в готовій продукції знижує її дегустаційні показники. Цілком очевидно, що різноманіття домішок етилового спирту і зростання вимог до якості ректифікованого спирту обумовлюють застосування багатоколонної ректифікаційної установки і додаткових технологічних прийомів, заснованих на інших методах фізико-хімічної очистки розчинів. Однак введення до складу брагоректифікаційних установок додаткових колон: розгінної, сивушної, остаточного очищення пов'язано з великими витратами на придбання і монтаж обладнання, його експлуатацію, збільшеним витратою пари, що гріє, підвищеним відбором побічних фракцій, проміжної фракції і т.д., і, отже, тягне за собою збільшення собівартості готового продукту [1, 3, 5, 6, 14–16], тому застосування для очищення ректифікованого спирту фізико-хімічних методів і комбінування процесів ректифікації і адсорбції може бути досить актуальним. Процес ректифікації – різновид перегонки, у процесі якої певна частина пари, що сконденсувалася (флегма), не виводиться разом з дистиллятом, а повертається у вертикальний розділовий апарат, де, стікаючи вниз, взаємодіє з парами, що піднімаються вгору. У результаті протиточного тепло- й масообміну з парів конденсується переважно висококиплячі компоненти ВК, а з рідини випаровуються переважно низькокиплячі. Способи перегонки (крім молекулярної) можуть застосовуватися у варіанті ректифікації, вони здійснюються періодично або безперервно при різних тисках: під атмосферним тиском або під вакуумом – для розподілення сумішей висококиплячих речовин, а також під тиском більше атмосферного – для розподілення сумішей, що являються газотворюючими при помірних температурах. [6].

Особливості дослідження технології ректифікації. У даній експериментальній ректифікаційній колоні контактуючим елементом є тарілки провального типу. Експериментально розроблені оптимальні технологічні параметри відбору пектинових речовин: співвідношення яблучних віджимок та екстрагенту 1:10; температура процесу 95–98 °С; рН середовища 1,8–2,0; тривалість процесу гідролізу – 1 година. Насадка з гофрованих матеріалів була створена виходячи з основної вимоги, що висувається до насадкових тіл,

призначених для вакуумної ректифікації: рівномірне розподілення кількості рідини та великої кількості пари по всьому перетину апарата для досягнення високої ефективності при низькому гідравлічному опорі.

Ректифікація бінарних систем є процесом поділу розчинів на один або два практично чисті компоненти шляхом здійснюваного в ректифікаційній колоні багаторазового двостороннього масообміну між парами, що рухаються протитечею, і рідиною.

Взаємодія фаз при ректифікації являє собою дифузійно низькокиплячого компонента з рідини в пару й висококиплячого компонента з пари в рідину, обумовлену різницею концентрацій компонентів у потоках пар і рідини. Основною умовою ефективного обміну речовинами між фазами є їх як можна більший інтенсивний контакт.

Спосіб контактування фаз усередині колони впливає: на глибину поділу, що досягається; на методи аналізу й розрахунків процесу в цілому й може бути східчастий – на тарілках або безперервний – уздовж шару насадки.

У насадковій колоні відбувається типовий протиточний диференціальний процес – потоки флегми й пар перебувають у постійній взаємодії на поверхні насадки, перенос речовини між фазами йде безупинно. Механізм роботи колони з насадкою не складається з окремих самостійних стадій, а являє собою безперервну зміну концентрацій рідких і парових потоків уздовж усієї поверхні контакту фаз. Саме цією безперервністю зміни сполук і відрізняється насадкова колона, що здійснює дійсну протитечею пар–рідина, від тарілчастої колони, у якій сполуки фаз міняються стрибком від однієї її тарілки до іншої.

Якщо дві нерівновагі фази, парову й рідку, привести у взаємний контакт і створити можливо більш сприятливі умови для масопередачі, а потім після обміну речовиною й енергією відокремити ці фази одну від іншої яким-небудь механічним способом, то всю таку операцію в цілому прийнято називати одним ступенем контакту. Механізм роботи тарілчастої колони, узятий у чистому виді, полягає в тому, що тарілки діють як ряд цілком самостійних ступенів контакту для парових і рідких потоків, що зустрічаються й перемішуються. Суттєво, що на тарілках колони дійсна протитечея пари і флегми повністю порушується (чого не відбувається в насадковій колоні); фази, що контактують, обмінюються речовиною й енергією внаслідок прагнення взаємодіючих середовищ до стану рівноваги.

Щоб встановити еталон для оцінки роботи тарілок колони, вводиться поняття про ідеальну контактну сходику або теоретичну тарілку, яка характеризується тим, що в ході масообміну взаємодіючі потоки досягають рівноважного стану.

Ступінь наближення контактуючих фаз до рівноваги, реалізована в практичній сходинці, умовно визначається як її ефективність або коефіцієнт корисної дії.

На тарілках ректифікаційної колони, що мають різну конструкцію, здійснюється інтенсивна взаємодія між висхідним паровим і спадним рідким потоками (рис. 1: А – верхній продукт; В – флегма; С – подача сировини; Е – нижній продукт; D – вхід пари від нагрівача; 1 – розподільувач; 2 – насадкa; 3 – колектор рідини; 4 – тарілки; 5 – перелив). У граничному випадку роботи тарілки енергообмін між дотичними парами й рідиною приводить до вирівнювання їх температур, у результаті обміну речовиною встановлюються рівноважні значення сполук фаз, і процес їх взаємодії припиняється, тому що система пар–рідина приходить у рівноважний стан. Пари й рідина відділяються друг від друга, і процес триває внаслідок нового контактування цих фаз уже на наступному щаблі з іншими рідкими й паровими потоками.

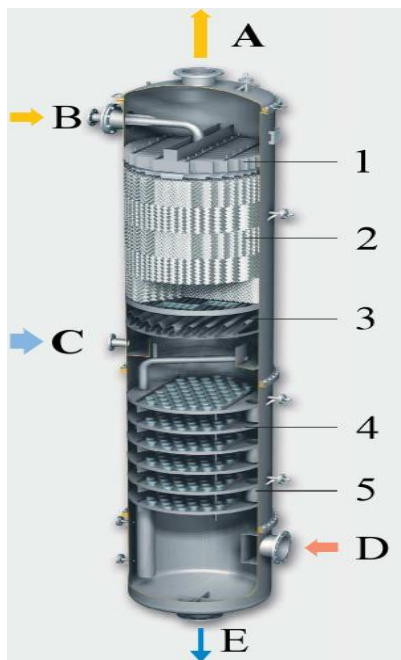


Рис. 1. Колонна як основна частина дистиляційної установки

У термодинамічній теорії масообмінних процесів поділу при переході від сполук фаз в одному міжтарілчастому відділенні до сполук фаз у сусідньому за кількісну основу ухвалюється гіпотеза теоретичної тарілки (щаблі). Особливість цієї теорії полягає в тому, що вона не займається питанням про механізм процесу й не досліджує дифузійної природи й кінетичної картини явища масопередачі на контактному щаблі. Теорія масообмінних процесів поділу, заснована на концепції теоретичної тарілки (щаблі), вивчає граничні умови проведення процесу й установлює еталони, порівнянням з якими можна одержати правильне судження про роботу

практичного апарата й про ступінь його відхилення від найбільш досконалого в даних умовах зразка.

Гіпотеза теоретичної тарілки не відтворює в точності дійсної картини явища, що протікає в контактному щаблі, тому що заснована на статичному представленні процесу. Проте ця концепція дозволяє здійснити аналіз і розрахунки процесу поділу вихідної суміші в ректифікаційній колоні й одержати досить близьку до дійсності картину реального процесу, незважаючи на наше невміння цілком компетентно й всебічно досліджувати складні явища масопередачі, що відбуваються на практичному щаблі контакту.

Дослідження й визначення ефективності практичних щаблів поділу виявляється, як правило, завданням менш важким, ніж безпосереднє вивчення дифузійної картини процесу ректифікації в реальній колоні. Таким чином, термодинамічна теорія ректифікації є поки першим щаблем загальної теорії ректифікації, для судження про спрямованість мимовільних процесів енерго- й масообміну. В окремо взятій контактній щаблі слід розглянути її роботу на основі методу теоретичної тарілки. Пари, що надходять на i -ту тарілку колони перебувають при більш високій температурі, ніж рідина, і концентрації компонентів в обох фазах відрізняються від рівноважних. При достатній тривалості контакту в результаті взаємодії нерівноважних рідин і пари в умовах теоретичної тарілки встановлюється стан паро-рідинної рівноваги, сполука пар зрушується убік збагачення низькокиплячим компонентом, а сполука рідини – убік збагачення висококиплячим компонентом.

При виборі типу ректифікаційної колони для проектування поділу слід мати на увазі, що тарілчасті колони дуже малого діаметра значно дорожче відповідних насадкових колон, однак у міру збільшення діаметра вартість насадкових колон зростає набагато швидше; для приблизної грубої оцінки можна вважати, що вартість насадкової колони зростає пропорційно квадрату діаметра, а ковпачкової – діаметру в першому ступені. Отже, за межами деякого граничного значення діаметра використання тарілчастих колон повинне бути більш економічним.

Тривалий досвід промислової експлуатації насадкових колон показав доцільність їх використання при діаметрах не більше 0,8 м. При подальшому збільшенні діаметра насадкової колони погіршується рівномірний розподіл флегми по насадці, утворюються канали, по яких переважно спрямовується флегма, і ефективність колони різко знижується. На жаль, насадкові колони мають недостатню гнучкість у роботі, що виражається в необхідності порівняно більших флегмових чисел, окрім того, у них важко підтримувати стабільний режим роботи.

Складні абсорбційні й десорбційні колони широко використовуються в промисловості поряд із простими апаратами – це абсорбери й десорбери із

двома введеннями сировинних потоків по висоті апарата й комбіновані або сполучені апарати. Сучасні ректифікаційні й абсорбційні апарати можна класифікувати залежно від технологічного призначення, тиску й виду внутрішнього обладнання, що забезпечує контакт пари й рідини.

За технологічним призначенням ректифікаційні апарати підрозділяються на колони атмосферно-вакуумних установок, термічного й каталітичного крекінгів, вторинної перегонки нафтопродуктів, ректифікації газів, стабілізації легких нафтових фракцій і т.д. (рис. 2).



Рис. 2. Трьохвимірна модель ректифікаційної установки для рекуперації розчинника пектину

Абсорбційні апарати за технологічним призначенням підрозділяються на апарати установок осушки, очищення газу, газорозділення і т.д.

Залежно від застосовуваного тиску апарати підрозділяються на вакуумні, атмосферні й працюючі під тиском. Залежно від внутрішнього обладнання розрізняють апарати тарілчасті, насадкові, роторні (з обертовими деталями).

Сучасні ректифікаційні й абсорбційні апарати повинні мати високу розділову здатність і продуктивність, характеризуватися достатньою надійністю й гнучкістю в роботі, забезпечувати низькі експлуатаційні витрати, мати невелику масу й, нарешті, бути конструктивно простими й технологічними у виготовленні. Останні вимоги не менш важливі, ніж перші, оскільки вони не тільки визначають капітальні витрати, але й значною мірою

впливають на експлуатаційні витрати, забезпечують легкість і зручність виготовлення апаратів (особливо це відноситься до серійних), їхнього монтажу й демонтажу, ремонту, контролю, випробування, а також гарантують безпечну експлуатацію.

У сучасних ректифікаційних і абсорбційних апаратах застосовуються найрізноманітніші конструкції контактних обладнань, останні безупинно удосконалюються, свідченням чого є потік наукових досліджень і патентних матеріалів.

У зв'язку із цим описувати конструкції й роботу контактних обладнань, а також способи й напрямки інтенсифікації процесів масопередачі в цей час неможливе без детальної класифікації контактних обладнань. Раніше передбачалася роздільна класифікація конструкцій контактних обладнань – по способах взаємодії фаз і принципам утворення міжфазної поверхні. Для більш повної класифікації доцільно скористатися обома ознаками одночасно, оскільки умови масопередачі визначаються способом взаємодії потоків і станом міжфазної поверхні.

Гратчасті й сітчасті (рис.3) безпереливні (провальні) тарілки мають основу, що перекидає увесь перетин колони, яка виконана у вигляді листа із щілинами або отворами відповідно, але в них немає спеціальних переливних обладнань для стоку рідини. При нормальній роботі на всій площині тарілки утворюється стійкий барботажний шар, при цьому місця стоку рідини розподіляються більш-менш рівномірно по перетину колони.

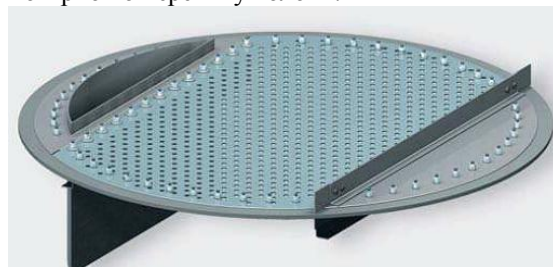


Рис. 3. Сітчаста тарілка

Працюють ці тарілки в такий спосіб: рідина, надходячи через переливне обладнання, розподіляється рівномірно по всій площині основи тарілки й потім зливається в інше переливне обладнання. Газ проходить через напрямні елементи й барботує через рідину, утворюючи спінений дисперсний шар газу в рідині.

Інжекційна тарілка має спеціальне переливне обладнання для рідини, що надходить й виходить, має направляючі елементи для руху газорідного потоку. Працює тарілка в такий спосіб: рідина з переливу інjektується газом, дробиться на струмені й краплі й транспортується уздовж відповідного елемента. Наприкінці елемента більша частина рідини виділяється з потоку газу й надходить у нижче розташоване зливальне обладнання. Отже, у цьому випадку контакт газу й рідини відбувається в розрідженій, дисперсній системі рідини в газі.

Каскадні промивні (поличні) тарілки складаються з основи у вигляді суцільних листів (полиць), що перекривають більшу частину перетину колони із протилежної сторони в розташованих рядом контактних обладнань. Рідина стікає струменями з основи одного контактного обладнання на основу іншого, а газ проходить між тарілками й перетинає стікаючу рідину.

Тарілка струминна (язичкова) має в основі напрямні елементи для проходу газу у вигляді прорізів або у формі язичка з відігнутою нагору вирізаною частиною основи. Направні елементи забезпечують односпрямований рух газу й рідини уздовж контактних обладнань. Конструкція переливів така ж, як і в розглянутих раніше тарілок.

Сітчаста тарілка з відбійними елементами складається з основи й похило розташованих відбійників, виконаних із просічно-втяжного листа. Відігнуті краї аркушів у основі тарілки утворюють гострий кут, спрямований по ходу руху рідини. Відігнуті краї просічно-втяжних листів відбійників спрямовані вниз у бік зливу рідини з тарілки й утворюють гострий кут з горизонтальною площиною тарілки; зливальна планка на виході рідини не передбачена. Відігнуті краї просічно-втяжних листів основи тарілки забезпечують односпрямований рух газу й рідини від одного відбійного обладнання до іншого, а відігнуті краї відбійних обладнань – сепарацію фаз безпосередньо на відбійних обладнаннях.

Тарілка із двома зонами контакту фаз має основу у вигляді аркуша з отворами, щілинами, клапанами або іншими обладнаннями й переливи для рідини, розташовані один над іншим. Переливи не доходять до основи нижчої тарілки й мають знизу відбивну пластину, яка забезпечує струминне витікання рідини в міжтарільчастий простір колони; контакт газу й рідини відбувається спочатку в барботажному шарі газ–рідина й потім у стікаючих струменях рідини.

Тарілка струминна із завихрительями для потоку газу має звичайне переливне обладнання для рідини, основу у вигляді листа із установленими на ньому напрямними елементами й закручувачами потоку газу різної конструкції. Робота цих контактних обладнань протікає в такий же спосіб, як і у звичайних барботажних тарілок, з тією лише відмінністю, що контакт газу й рідини здійснюється в закрученому вихровому потоці рідина–газ, де основною фазою є рідина, а дисперсною – газ.

Тарілка з регулярним обертанням газорідинного потоку має закручувач для потоку газу, виконаний з набору тангенціально розташованих пластин або листів з розташованими на них тангенціальними просечками. Тарілка має спеціальні переливні обладнання, бічне обладнання з'єднується з розташованим нижче центральним обладнанням.

Тарілка працює в такий спосіб: газ, проходячи через закручувач, надходить у рідину й надає їй круговий, обертаний рух по тарілці. Контакт пари й

рідина відбувається у високодисперсному шарі газ–рідина, де основною фазою є газ, а дисперсною – рідина.

Прямоточне контактне обладнання складається зі звичайних переливів для рідини, основи у вигляді листа із установленими на ньому контактними елементами у вигляді сопла, труби й завихрительей для потоку газу. Контакт фаз здійснюється тут у прямої між плівкою рідини й закрученим потоком газу. В іншому робота прямоточного контактного обладнання мало чим відрізняється від роботи розглянутих раніше тарілок.

Вихрова колона виконується з однієї або декількох труб із установленими в них завихрительями потоку газу й рідини. Газ рухається по центру труби в закрученому потоці назустріч стікаючій по периферії труби рідини. Отже, контакт газу й рідини здійснюється між закрученим потоком газу й закрученою плівкою рідини.

У колонні із плоскопаралельною насадкою по ходу руху газового потоку на невеликій відстані друг щодо друга встановлені плоскі або певним чином гофровані листи. Рідина стікає тонкою плівкою по поверхні листів, взаємодіючи з газом у протитечії.

Контактні обладнання в насадковій колоні виконуються у вигляді шару безладно або регулярно покладених на опорній конструкції елементів насадки. Контакт фаз у шарі насадки здійснюється в протитечії газу й плівки рідини на поверхні елементів насадки й у дисперсному шарі рідина–газ між окремими елементами насадки.

Апарати, призначені для проведення процесів абсорбції й ректифікації, називаються відповідно абсорберами або ректифікаційними колонами. Зазначені апарати можна підрозділити на три основні групи:

- а) апарати, у яких поверхнею фазового контакту є поверхня рідини, що розтікається по спеціальній насадці;
- б) апарати, у яких поверхня фазового контакту створюється потоками газу (пари) і рідини;
- в) апарати, у яких поверхня фазового контакту створюється внаслідок розбризкування рідини.

Апарати зі змоченою насадкою або просто насадковій колоні виконуються у вигляді циліндричної колони, заповненої насадковими тілами. Основними вузлами насадкових апаратів є пристосування для розподілення рідини по насадці; насадкові тіла й обладнання, які направляють до центру рідину, що розтікається.

Газ (пара) і рідина звичайно взаємодіють при русі протитечією. Рідина надходить у верхню частину контактних обладнань, розподіляється по насадковим тілам за допомогою пристосувань і стікає вниз по поверхні останніх. Газ (пара) уводиться знизу й рухається нагору по каналах, утворених насадковими тілами.

Насадка або насадкові тіла, можуть мати найрізноманітнішу форму. Практичне значення мають: хордова насадка, кільця, фасонні насадкові

тіла, спіральна й сітчаста металева насадка, а також дроблений грудковий матеріал.

Хордова насадка, як правило, робиться з дерев'яних брусів, що розташовуються правильними рядами один над одним.

Кільцева насадка складається з керамічних або сталевих циліндрів, що завантажуються в апарат або правильними рядами, або навалом.

Фасонна насадка виконується з кераміки у вигляді сідел, циліндрів з перегородками, пропелерів і т.д., що завантажуються в апарат навалом.

Спіральна й сітчаста насадки виконуються звичайно зі сталеві оцинкованої стрічки й завантажуються в апарат правильними рядами. У якості кускової насадки звичайно використовують дроблений кокс або кварц у вигляді шматків розмірами 25–75 мм.

Найбільш ефективна насадка, що має менший еквівалентний діаметр, а отже, менший коефіцієнт вільного об'єму й більшу питому поверхню. У промисловій апаратурі найчастіше використовуються кільцева насадка й дроблений грудковий матеріал.

Оскільки газовий потік, що рухається в насадковій колоні знизу нагору, як і у всіх випадках руху газу по каналах, має максимальну швидкість у центрі, рідина, що рухається назустріч йому розтікається до периферії. Рідина майже повністю відтискується від місця введення зрошення до периферії на відстань, рівну чотирьом-п'ятьом діаметрам.

Відповідно до цього в насадкових колонах доцільно розміщати перегородки, що збирають рідину, відстань між якими дорівнює трьом-чотирьом діаметрам апарата. Перегородки, що збирають, виконуються або у вигляді усічених конусів, або у вигляді тарілок зі зливальними патрубками. Як показує досвід, перегородки останнього типу є більш ефективними.

Практика показує, що насадкові колони працюють найбільш ефективно в умовах режиму підвисання, близького до режиму захлинання, тобто такого, при якому вага затриманої на насадці рідини стає рівним силі тертя газового потоку по рідині. При цьому рідина, що зрошує, затримується у вільному об'ємі колоні в максимальній кількості, утворюючи в проходах насадки газо-рідинну суміш – щільну піну. Цей режим відрізняється тим, що невелике збільшення швидкості газу (пари) приводить до захлинання колоні внаслідок переваги сил тертя над силами ваги.

Оптимальний режим роботи колоні досягається при швидкостях газового (парового) потоку на 15–20 % менших швидкостей, що викликають захлинання. Очевидно, що в цих умовах масообмін стає досить ефективним.

Поверхня фазового контакту перевищує

поверхню насадки, а коефіцієнти масовіддачі досягають граничних величин для апаратів подібного типу.

При зрошенні насадкової колоні рідиною гідравлічний опір її збільшується з ростом щільності потоку газу (пари) і щільності зрошення й досягає максимуму при режимі захлинання. Щільністю зрошення й щільністю газового (парового) потоку називають у цьому випадку вагові швидкості потоків газу (пари) і рідини в колоні, віднесені до одиниці поперечного перерізу апарата.

Колони з тарілками (рис. 1), є ефективними й найпоширенішими апаратами. Вони виконуються у вигляді вертикальних циліндрів, усередині яких одна під іншою розміщена певна кількість горизонтальних перегородок – тарілок, що забезпечують можливість плинну рідини зверху вниз, а газу або пари знизу нагору.

Розрізняють тарілчасті колони з переливними обладнаннями й колони з неорганізованим переливом рідини, або із провальними тарілками.

Колони із провальними тарілками за характером гідродинаміки потоків аналогічні насадковим колонам, що працюють у режимі підвисання.

На тарілках одночасно відбувається барботажа газу або пари через шар рідини й часткове «провалювання» рідини. Газ (пара) рухається знизу нагору тільки через частину отворів або щілин пульсуючим потоком. Розподіл в отворах, що пропускають газ або рідину, носить статистичний характер, рідина стікає з тарілки на тарілку в місцях максимального статичного тиску. Сумарну площу всіх отворів (щілин), або так званий вільний перетин тарілок, підбирають так, щоб при заданій швидкості газового (парового) потоку через частину отворів відбувалося «провалювання» рідини.

Тарілчасті колони з переливними обладнаннями – це апарати з горизонтальними тарілками й переливними обладнаннями. Рідина надходить на верхню тарілку, переливається через переливні обладнання зверху вниз і видаляється з нижньої частини апарата. Газ (пара) уводиться в нижню частину апарата й переміщується нагору, розподіляючись на кожній тарілці у вигляді пухирців або факелів.

Залежно від способу розподілу газу (пари) на тарілках розрізняють тарілки сітчасті (рис. 3) й ковпачкові (рис. 4), або тунельні (рис. 5).

Характер розподілу газу й рідини залежить не стільки від конструкції обладнання, що розподіляють, скільки від швидкості газового потоку.

При невеликій швидкості газу в отворах сітчастої тарілки окремі пухирці газу (пари) відриваються й переміщуються в рідині один за іншим; при цьому тарілка працює неповним перетином. Такий режим розподілу газу, як відомо, називається бульбашковим.

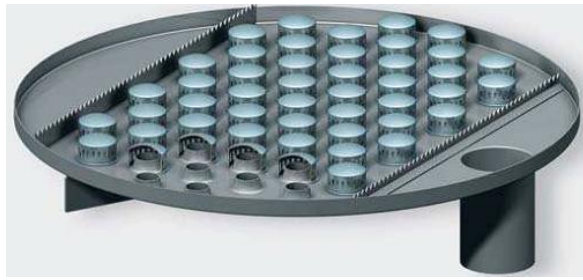


Рис. 4. Ковпачкова тарілка

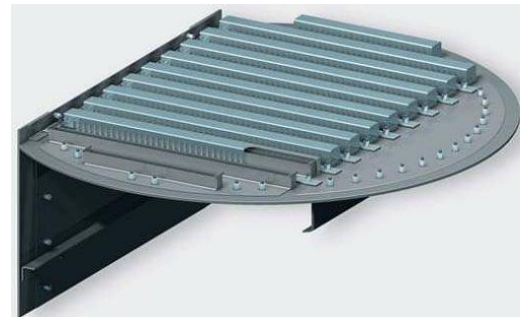


Рис. 5. Тунельна тарілка

В інтервалі швидкостей газового потоку, що відповідають бульбашковому режиму, відзначаються границя швидкості, при якій частина рідини «провалюється» через окремі отвори, границя швидкості, при якій «провал» відсутній, але отвори працюють нерівномірно, і, нарешті, границя швидкості, відповідна до рівномірної роботи тарілки у всьому перетині. При цьому на тарілці утворюється ніздрювата піна.

При збільшенні швидкості газу відбувається руйнування ніздрюватої піни; подібний розподіл газу або пари називається смолоскиповим.

При сильному зростанні швидкості газу (пари) потоки його розбивають піну й починають підкидати рідину на більшу висоту. Крім зливальних патрубків, тарілки мають пороги 1 і 2, перший руйнує піну, що стікає з верхньої тарілки, другий служить для підтримки певної висоти стовпа рідини на тарілці.

Останнім часом у промисловості знаходить застосування ряд тарілок нових конструкцій.

Клапанна тарілка поєднує в собі властивості сітчастих і ковпачкових тарілок. Барботаж газу (пари) через рідину відбувається через клапани, які залежно від витрати газу (пари) можуть займати різні положення по вертикалі. Клапанні тарілки відрізняються стабільністю роботи в різних діапазонах навантажень по газовому (паровому) потоку.

Струминна тарілка виконується у вигляді похилих паралельних пластин, між якими проходить газ і пар. Поверхня контакту фаз розвивається струменями газу (пари) і рідини.

Тарілки із двома зонами контакту фаз мають додаткову зону контакту фаз за рахунок спеціально організованого зливу рідини з однієї тарілки на іншу. Газ (пара) проходить через плівку рідини (додаткова зона контакту фаз) і барботує через рідину на тарілці. Як показують дослідження сепарувальні дії плівки, дозволяють підвищити швидкість газу (пари) у колоні в порівнянні із сітчастими й ковпачковими тарілками.

Тарілки з обертовим потоком рідини працюють наступним чином: пара, проходячи через спеціальне контактне обладнання, приводить в обертання рідину

для барботажу. За рахунок відцентрової сили відбувається сепарація пари від бризів, крапель, плівок рідини. Ці тарілки також дозволяють підвищити швидкість газового (парового) потоку.

Різновидом обладнання, у якому поверхня контакту фаз розвивається потоком газу (пари), є тарілки з кульовою насадкою. Шар куль, поміщених на тарілку сітчастого або провального типу, утворює щільну сепарувальну завісу між тарілками при певній витраті газу (пари). Такі апарати дозволяють підвищити швидкість газу (пари) у колоні в 3–4 рази в порівнянні із сітчастими тарілками.

Гідродинамічні дослідження по визначенню опору зрошуваної насадки проводились на лабораторній ректифікаційній установці в ЗАТ УКРНДІХІМАШ. Було досліджено декілька видів блоків насадок з гофрованих матеріалів:

- 1 – з гладкого листа;
- 2 – з гладкого листа з прорізами;
- 3 – з перфорованого листа;
- 4 – з перфорованого листа з крупним гофром;
- 5 – з ткані сітки ламельна;
- 6 – з ткані сітки рулонна.

Розподільча властивість теоретичних тарілок на 1 м висоти (рис. 3) становить:

- ламельна насадка з ткані сітки 6–7;
- рулонна насадка з ткані сітки 3–4;
- ламельна насадка з листа без прорізів 2–3;
- ламельна насадка з листа з прорізами 3–2;
- ламельна насадка з перфорованого листа 2–3;
- ламельна насадка з перфорованого листа з крупним гофром 1–2.

Перепад тиску на одну теоретичну тарілку від навантажень по газу становить:

- 1) ламельна насадка з сітки $\Delta P/TT = 5-65$ Па;
- 2) насадка рулонна з сітки $\Delta P/TT = 10-120$ Па;
- 3) насадка з аркуша без прорізів $\Delta P/TT = 12-125$ Па;
- 4) насадка з аркуша з прорізами $\Delta P/TT = 3-135$ Па;
- 5) насадка з перфорованого аркуша $\Delta P/TT = 10-100$ Па;
- 6) насадка з перфорованого аркуша з крупним гофром $\Delta P/TT = 5-85$ Па [6–11].

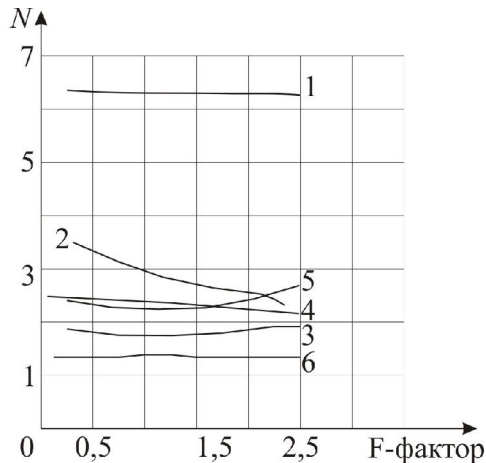


Рис. 1. Залежність числа теоретичних тарілок (N) від навантаження по пару (F -фактор) в 1 м різних типів насадок: 1 – ламельна з сітки; 2 – рулонна з сітки; 3 – з аркуша без прорізів; 4 – з аркуша з прорізами; 5 – з перфорованого аркуша; 6 – з перфорованого аркуша з великим гофром

Дослідження масообмінних характеристик регулярних насадок проводились на тій же установці, що і гідродинаміка зрошуваних насадок, з тією лише різницею, що у куб колони заливалася суміш водного розчину етанолу з концентрацією етанолу ~ 50 об. %. Після обробки експериментальних даних, отриманих для кожного типу насадок, були встановлені залежності числа теоретичних тарілок в 1 м насадки від навантаження по газу (F -фактор).

Дані, отримані при гідродинамічних випробуваннях, спеціальної методики обробки не вимагали. З таблиць вимірів будувались графіки залежності перепаду тиску на 1 м насадки від швидкості повітря (пари), переведеної у F -фактор ($\text{кг}^{0,5}/\text{с} \cdot \text{м}^{0,5}$):

$$F\text{-фактор} = W \cdot \sqrt{\rho},$$

де W – швидкість потоку, м/с; ρ – густина пари, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Межі вимірювання навантажень по пару при F -факторі від 0,5 до 3,5:

- 1) $W = 1\text{--}2$ м/с, $\rho = 0,8\text{--}2$ $\text{кг}/\text{м}^3$,
 F -фактор = 1–3;
- 2) $W = 4\text{--}10$ м/с, $\rho = 0,3\text{--}1$ $\text{кг}/\text{м}^3$,
 F -фактор = 0,1–1;
- 3) $W = 0,1\text{--}1$ м/с, $\rho = 8\text{--}30$ $\text{кг}/\text{м}^3$,
 F -фактор = 3–3,5.

При тиску, швидкості, щільності F -фактор однаково показниковий. Для тарілок F -фактор дорівнює 1–3, для насадок F -фактор становить 1,5–4.

Практична ефективність кожної насадки постійна при збільшенні швидкості газу. Найбільшу ефективність має насадка з гофрованої сітки, найменшу – насадка з перфорованого аркуша з великим гофром (крива 6).

При однаковому гофрі (10 мм) у насадках з листових матеріалів найбільш ефективною є насадка з гофрованого перфорованого матеріалу, найменш ефективною – насадка без перфорацій.

У процесі досліджень треба визначати ступінь вилучення летких домішок спирту (α) і кратність їх концентрування (β):

$$\alpha = X_m / X_0 \text{ та } \beta = X_d / X_m,$$

де X_m , X_d , X_0 – концентрація домішок спирту на тарілці живлення, в дистилаті і в кубовій частині колони відповідно.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. При відгоні спирту, використаного для осадження пектину, одержують цукристі речовини, органічні кислоти, барвники та ароматизатори. Вони мають вигляд фруктових екстрактів, які можна застосовувати в харчовій промисловості в якості стабілізаторів, барвникових речовин і підсолоджувачів.

Вичавки після екстракції пектину сушать і гранулюють. Завдяки високому утриманню поживних речовин вони йдуть на корм худобі – тобто можна визначити можливість утворення сучасного комплексного інноваційного безвідходного виробництва.

Результати дослідження показали, що висока розподільча властивість ламельної насадки з гофрованої ткані сітки обумовлена гарно розвиненою поверхнею контакту фаз: рідина – за рахунок капілярного ефекту, виникаючого у чарунках сітки, газова – за рахунок турбулізації газу в системі перетину каналів.

Відповідно до цілей експерименту визначені наступні гідродинамічні та масообмінні характеристики у колонні з регулярною насадкою з гофрованих сітчастих та листових матеріалів у процесі регенерації етилового спирту при виробництві пектину з сирих яблучних віджимок:

- дослідження і визначення гідравлічного опору одного метру сухої та зрошувомої насадки для різних швидкостей газу;

- дослідження процесу масообміну при різних навантаженнях по газовій і рідинній фазах;
- проведення порівняльної оцінки насадки з гофрованої сітки з насадками з інших гофрованих матеріалів;
- визначення можливості спрямованого виготовлення і галузей використання насадок з гофрованих листових матеріалів.

Експериментально розроблені оптимальні технологічні параметри відбору пектинових речовин: співвідношення яблучних віджимок та екстрагенту, температура процесу, рН середовища та тривалість процесу гідролізу. Під час досліджень встановлена залежність (F-фактор), яка характеризує межі вимірювання навантажень по парі та змінюється від 0,5 до 3,5. Слід відмітити, постійне зростання попиту на пектин, що, насамперед, пов'язане з факторами:

- відмови споживачів від штучних харчових добавок і генномодифікованих продуктів;
- збільшення попиту на готові продукти і напівфабрикати, і в той же час зростання вимог до екології продуктів, їх смаку, малому вмісту жиру та цукру;
- зростання споживання натуральних і функціональних інгредієнтів та зміни у технології харчових виробництв з боку виробників харчових продуктів.

Ці фактори стимулюють розвинення досліджень з метою розробки сучасної великотоннажної технології отримання пектинів з різноманітної рослинної сировини та впровадження її на Україні [12–21], а також сприяють розвитку створення інтелектуальної власності студентами та аспірантами [22–24].

Список літератури

1. Стабников В.Н. Перегонка и ректификация этилового спирта. М.: Пищевая промышленность, 1969. 456 с.
2. Цыганков П.С., Цыганков С.П. Руководство по ректификации спирта. М.: Пищепромиздат, 2001. 400 с.
3. Яренко В.Л., Мариченко В.Д., Смирнов В.А. Технология спирта. М.: Пищепромиздат, 1999. 464 с.
4. Бутова С.Н. Инновационная технология производства пектина в России / С.Н. Бутова, Д.В. Гаврилова, Ю.В. Махова // Вестник Российской академии естественных наук. 2012. – № 3. – С. 43–46.
5. Карпович Н.С. Пектин. Производство и применение / Н.С. Карпович, Л.В. Донченко, В.В. Нелина. Под редакцией К.С. Карпович. – К.: Урожай, 1989. – 88 с.
6. Лисицкая К.В. Сравнительный анализ антиоксидантных свойств пектинов из различного растительного сырья / К.В. Лисицкая, А.А. Торкова, И.В. Николаев, Т.В. Федорова, О.В. Королева, М.А. Михалева // Пищевая промышленность. 2012. – № 12. – С. 64–66.
7. Моисеева В.Г. Влияние способа осаждения на качественные характеристики пектиновых препаратов / В.Г. Моисеева, Г.М. Зайко, И.А. Медведев, И.А. Водянов // Изв. вузов. Пищевая технология. 1974. – № 2. – С. 79–81.
8. Рудаков О.Б., Боев А.И., Никитина С.Ю. и др. Устройство для идентификации компонентов в сложных смесях: Пат. РФ №2192636 // Опубл. 10.11.2002. Бюл. №31.
9. Абрамова И.М., Поляков В.А., Савельева В.Б., Воробьева Т.Г., Сурин И.М. Влияние органических микропримесей на органические показатели пищевого ректифицированного спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2006. №2. С. 24–26.
10. ДСТУ 4221:2003 Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови., Київ ДП «УкрНДНЦ». 2018. 8 с.
11. Никитина С.Ю., Дячкина А.Б. О повышении качества ректифицированного спирта // Ликероводочное производство и виноделие. 2006. №6. С. 8–9.
12. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
13. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
14. Бухкало С.И. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
15. Бухкало С.И. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
16. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение. НТУ «ХПИ», Харьков, 2005, – 460 с.
17. Бухкало С.И. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
18. Бухкало С.И. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
19. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zippunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
20. Бухкало С.И. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
21. GEA Wiegand GmbH • Am Hardtwald 1 •76275 Ettlingen Germany: www.gea-wiegand.com
22. Прищенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.И. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 320.
23. Сирку М.А., Бухкало С.И., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнутова М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
24. Ситник В.В., Яценко Б.С., Бухкало С.И., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.

References (transliterated)

1. Stabnikov V.N. Peregonka i rektifikacija jetilovogo spirta. M.: Pishhevaja promyshlennost', 1969. 456 p.
2. Cygankov P.S., Cygankov S.P. Rukovodstvo po rektifikacii spirta. M.: Pishhepromizdat, 2001. 400 p.
3. Jarovenko V.L., Marichenko V.D., Smirnov V.A. Tehnologija spirta. M.: Pishhepromizdat, 1999. 464 p.
4. Butova S.N. Innovacionnaja tehnologija proizvodstva pektina v Rossii / S.N. Butova, D.V. Gavrilova, Ju.V. Mahova // Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. 2012. – № 3, pp. 43–46.
5. Karpovich N.S. Pektin. Proizvodstvo i primenenie / N.S. Karpovich, L.V. Donchenko, V.V. Nelina. Pod redakciej K.S. Karpovich. – K.: Urozhaj, 1989. – 88 p.
6. Lisickaja K.V. Sravnitel'nyj analiz antioksidantnyh svojstv pektinov iz razlichnogo rastitel'nogo syr'ja / K.V. Lisickaja, A.A. Torkova, I.V. Nikolaev, T.V. Fedorova, O.V. Koroleva, M.A. Mihaleva // Pishhevaja promyshlennost'. 2012. – No. 12, pp. 64–66.
7. Moiseeva V.G. Vlijanie sposoba osazhdenija na kachestvennye karakteristiki pektinovyh preparatov / V.G. Moiseeva, G.M. Zajko, I.A. Medvedev, I.A. Vodjanov // Izv. vuzov. Pishhevaja tehnologija. 1974. No. 2, pp. 79–81.
8. Rudakov O.B., Boev A.I., Nikitina S.Ju. i dr. Ustrojstvo dlja identifikacii komponentov v slozhnyh smesjah: Pat. RF №2192636 // Opubl. 10.11.2002. Bjul. №31.
9. Abramova I.M., Poljakov V.A., Savel'eva V.B., Vorob'eva T.G., Surin I.M. Vlijanie organicheskikh mikroprimesej na organicheskie pokazateli pishhevogo rektifikovanogo spirta // Proizvodstvo spirta i likerovodochnyh izdelij. 2006. No. 2, pp. 24–26.
10. DSTU 4221:2003 Spiryt etilovij rektifikovanij. Tehnichni umovi., Kijv DP «UkrNDNC». 2018. 8 p.
11. Nikitina S.Ju., Djachkina A.B. O povyshenii kachestva rektifikovanogo spirta // Likerovodochnoe proizvodstvo i vinodelie. 2006. No. 6, pp. 8–9.
12. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. – 832 p.
13. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
14. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
15. Buhkalo S.I. Vznachennja zagal'noi tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
16. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevyh proizvodstv i jenergosberezenie. NTU «HPI», Har'kov, 2005, – 460 p.
17. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
18. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17–19 maja 2018. H.: Ch. II, p. 201.
19. Buhkalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks / Visnik NTU «KhPI». – Kharkiv.: NTU «KhPI», 2019. – No. 15(1340), pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
20. Buhkalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17–19 maja 2017. – Kharkiv: Ch. III, p. 14.
21. GEA Wiegand GmbH • Am Hardtwald 1 • 76275 Ettlingen Germany: www.gea-wiegand.com
22. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Buhkalo S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 320.
23. Sirku M.A., Buhkalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
24. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Buhkalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Vznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «HPI», p. 343.

Надійшла (received) 19.07.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Ольховська Оксана Ігорівна (Ольховская Оксана Игоревна, Olkhovska Oksana Igorivna) – ст. викладач, кафедра менеджменту і опадаткування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.

Зипунніков Микола Миколаєвич (Zipunnikov Nikolai Nikolaevich, Zipunnikov Mykola Mykolaevich) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, відділ водневої енергетики, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0579-2962>; e-mail: zipunnikov_n@ukr.net

Ольховська Вікторія Олегівна (Ольховская Виктория Олеговна, Olkhovska Victoria Olegovna) – студентка ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Сирку Марія Андріївна (Сырку Мария Андреевна, Syrku Mariia Andriivna) – студентка НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна.