

4. Патент № 80113, Франція, МКИ А 01 В. Приспособление к трактору для работы на склонах / Ж. Буш. Заявл. 13.07.61; опубл. 04.02.63, реферативный журнал № 10, 1964.

5. Кацыгин В.В. О закономерности сопротивления почв сжатию // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1962. – №4. – С. 28-31.

6. Мшвилдадзе О.П. Основы создания технических средств, стабилизирующих направление движения крутосклонного агрегата: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Тбилиси, 1986. – 52 с.

7. Усенко М.В. Дослідження взаємодії з ґрунтом диска стабілізуючого пристрою при роботі на схилах // Міжвідомчий тематичний наук. зб. “Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Глеваха: ННЦ “ІМЕСГ”. – Вип. 92. – 2008. – с. 133-139.

8. Патент № 32744 Україна, МКВ А01В 15/20. Стабілізуючий пристрій до мотоблоку / М.В. Усенко та ін. – № 98031252. Заявл. 11.03.1998. Опубл. 15.02.2001. Бюл. № 1.

*Рецензент д.т.н., проф. Г.А. Хайліс*

УДК 664.

© Ю.В. Федорусь, к.т.н., М.С. Поліщук  
Луцький національний технічний університет

## **ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ПЕКТИНУ З БУРЯКОВОГО ЖОМУ**

*Розглянуто та проаналізовано традиційні та сучасні способи отримання пектину з бурякового жому, виділено їхні основні недоліки. Оптимізовано умови отримання пектину та проведено ряд досліджень з обробкою їх результатів. На основі отриманих результатів обрано оптимальні параметри для вилучення пектину з бурякового жому.*

### **ПЕКТИН, ЖОМ, ПОДРІБНЕННЯ, ЕКСТРАКЦІЯ, ФІЛЬТРАЦІЯ, КОНЦЕНТРАТ**

**Постановка проблеми.** Буряковий жом містить пектин, який за своїм складом ідентичний пектину яблук і citrusових. Пектин має здатність давати у водних розчинах з цукром і кислотою міцні гелі [1]. На цій властивості ґрунтується застосування пектину у харчовій промисловості в якості желеутворюючого компоненту при виготовленні

желейних мармеладів, цукерок, джемів, а також в якості емульгатора майонезних сумішей, соусів і різних харчових емульсій [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження з вилучення пектину з рослинної сировини, зокрема бурякового дому, проводилися Донченко Л.В. та Дейниченко Г.В. З літературного огляду встановлено, що є декілька способів вилучення пектину з бурякового жому, проте, оптимальний не визначений, що і досліджувалося в даній статті.

**Мета дослідження.** Вибір оптимальних параметрів для проведення процесу вилучення пектину з бурякового жому.

**Результати дослідження.** Існує багато способів виготовлення пектину із бурякового жому, які мають ряд переваг та недоліків [3, 5]. Традиційні способи одержання бурякового пектину засновані на кислотному гідролізі рослинної сировини з подальшим осадженням пектину різними методами, які мають ряд істотних недоліків: застосування у великих обсягах кислот і лугів, що вимагає їх безумовну екологічну регенерацію; необхідність використання токсичних, вогнебезпечних і легкозаймистих реагентів (хлористий алюміній, етанол); трудомісткість технологічного процесу, в якому використовують велику кількість одиниць обладнання та висока собівартість цільового продукту [4].

Відомо і кілька прогресивних технологій отримання пектину, що виключають недоліки традиційних методів. Однією з таких є технологія, що включає заморожування-дефростацію бурякового жому в кислому середовищі і осадження пектину етанолом, що дозволяє отримати продукт з високою желеутворюючою здатністю, із виходом цільового продукту близько 30%. Недоліки способу: труднощі освоєння, відсутність спеціального технологічного устаткування, енергоємність процесу, висока собівартість, необхідність використання кислоти і етанолу.

Крім того, відомий спосіб, що включає обробку жому дистильованою водою у кавітаційному режимі, механічну фільтрацію і концентрування екстракту ультрафільтрами, що дозволяє отримати буряковий пектин з високою желюючою здатністю і виходом цільового продукту близько 90% від теоретичного. Основні недоліки способу: труднощі створення і підтримки стандартного кавітаційного режиму, відсутність серійних промислових екстракторів кавітаційного типу.

Способи, що включають гідроліз протопектину і екстрагування пектину водою в електричному полі з щільністю струму 0,01-0,02 А/см<sup>2</sup> з наступним виділенням цільового продукту, дозволяють отримати буряковий пектин з більш високою желюючою здатністю і загальним виходом цільового продукту близько 17%. Основні недоліки: висока енергоємність технологічного процесу, особливі вимоги з техніки безпеки, мала стабільність рН електроактивованої води, необхідність і трудність у виготовленні спеціального технологічного устаткування [3, 4].

Наступний спосіб включає такі етапи: подрібнення сировини до розміру часток 1 мм, її екстракція водою при гідромодулі 1:(10-20) протягом 18 год при кімнатній температурі, а потім ще 30-45 хв при температурі 70-80°C, фільтрація та вакуумне випаровування екстракту, осадження пектину етанолом, відділення пектину і його сушка. Недоліки способу: енергоємна стадія випаровування, осадження пектину етанолом, тривала екстракція сировини при кімнатній температурі.

Розглянувши традиційні та сучасні способи отримання пектину з бурякового жому, варто виділити наступний спосіб, який, на основі проведених досліджень, виявився найбільш економічно вигідним. Даний спосіб включає сушіння, подрібнення сировини, її екстракція водою, фільтрація, концентрування пектинового екстракту і його сушіння.

Сушіння жому проводять при температурі 30-50°C. Подрібнюють висушений жом до розміру частинок 1-5 мм для створення високої різниці концентрацій, що є основною рушійною силою процесу дифузії при екстракції пектинових речовин. Під час набухання сировини у воді з гідромодулем 1:(3-5) протягом 0,5-2 год відбувається перехід водорозчинних пектинових речовин бурякового жому в розчинний стан. У процесі відмивання набряклого жому водою із загальним гідромодулем 1:(20-40) при температурі 40-55°C протягом 1-2 год методом протитоку у батареї з 3-5 екстракторів відбувається вимивання баластних речовин, що залишилися в сировині після отримання соку. Крім того, витягуються і водорозчинні пектинові речовини, вихід яких становить 2-3% у перерахунку на сухий жом. Ці речовини не володіють желюючою здатністю, у зв'язку з чим на даній стадії пектиномісний екстракт, отриманий за цим способом, подальшому використанню не підлягає. Екстракція підготовленого жому проводиться водою при температурі 85-95°C і гідромодулі 1:(20-40) протягом 1-2 год, що забезпечує перехід у розчинний стан значної кількості пектинових речовин. При використанні гідромодуля 1:20 їх концентрація у пектиновому екстракті становить 0,8-1% і спостерігається мимовільне желювання розчину (по мірі охолодження його до кімнатної температури). Вихід пектину становить 23-25% у перерахунку на сухий жом. З урахуванням складнощів, які виникнуть при роботі в промислових умовах з розчинами, схильними до мимовільного желювання, оптимальним прийнятний гідромодуль, рівний 1:40. Проведення концентрування пектинового екстракту на мембранному фільтрі усуває небажаний тривалий вплив підвищеної температури на пектинові речовини і одночасно дозволяє значно знизити енерговитрати. Можливий ступінь концентрування екстракту при ультрафільтрації (до 1:20). Завдяки цьому допускається пряме сушіння концентрату в м'яких умовах при температурі 30-70°C без попереднього осадження пектину

спиртом, ацетоном або хлористим алюмінієм. При ультрафільтрації в концентраті залишається тільки високомолекулярний пектин, який звільнений від низькомолекулярних домішок, що обумовлює високий ступінь чистоти цільового продукту.

Для вибору параметрів вилучення пектину з бурякового жому цим способом, було проведено ряд дослідів з обробкою їх результатів.

**Дослід 1.** 36 г бурякового жому висушують в струмі теплого повітря при температурі 50°C, подрібнюють до розміру часток 1-3 мм і завантажують порціями по 12 г у три екстрактора-дифузора для відмивання жому. У кожен екстрактор заливають 60 мл дистильованої води і залишають жом для набухання при кімнатній температурі. Через 1 год проводять відмивання набряклого жому водою температурою 50°C методом протитечії в батареї з 3-х екстракторів. Далі заливають по 480 мл дистильованої води в 1-й екстрактор (3 рази). З інтервалом 1 год. здійснюють послідовні пересування витягів від 1-го екстрактора до 3-го через 2-й і повністю зливають по закінченні роботи батареї витяжки з усіх трьох екстракторів. Об'єднану витяжку надалі не використовують. Відмитий жом з усіх екстракторів вивантажують, об'єднують і поміщають в екстрактор (лабораторну колбу місткістю 3000 см<sup>3</sup> з пропелерною мішалкою, встановлена на киплячій водяній бані). У екстрактор заливають 1440 мл дистильованої води, доводять температуру до 90°C, включають мішалку і проводять екстракцію сировини протягом 1 год. Фільтрують отриманий пектиновий екстракт через паперовий фільтр під вакуумом. Фільтрат піддають ультрафільтрації, із площею фільтрації 0,2 м<sup>2</sup> при тиску 0,8-0,9 кгс/см<sup>2</sup> до отримання концентрату в обсязі, що дорівнює 1:10-1:20 від первісного. Концентрат розливають шаром не більше 1 см в скляні кювети, сушать в струмі теплого повітря при температурі 50°C і отримують готовий продукт.

**Дослід 2.** 36 г бурякового жому висушують в струмі теплого повітря при температурі 50°C, подрібнюють до розміру часток 3-5 мм і завантажують порціями по 7,2 г в 5 екстракторів-дифузорові для відмивання жому. У кожен екстрактор заливають 36 мл дистильованої води і залишають для набухання при кімнатній температурі. Через 2 год. проводять відмивання набряклого жому водою з температурою 55°C методом протитечії в батареї з 5-ти екстракторів, заливають по 288 мл дистильованої води в 1-ї екстрактор (5 разів). З інтервалом 2 год здійснюють послідовні пересування витягів від 1-го екстрактора до 5-го через 2-й, 3-й і 4-й та повністю зливають по закінченні роботи з батареї витяжки з усіх п'яти екстракторів. Об'єднану витяжку не використовують. Відмитий жом з п'яти екстракторів вивантажують, об'єднують і поміщають в екстрактор, заливають 1440 мл дистильованої

води, доводять температуру до 95°C, включають мішалку і проводять екстракцію сировини протягом 2 год. Подальші операції аналогічні описаним у способі 1, температура сушіння концентрату 70°C.

**Дослід 3.** 36 г бурякового жому висушують в струмі теплого повітря при температурі 50°C, подрібнюють до розміру часток не більше 1 мм, завантажують в екстрактор, заливають 108 мл дистильованої води і залишають для набухання при кімнатній температурі протягом 30 хв. Потім заливають 720 мл дистильованої води, доводять температуру до 45°C, включають мішалку і проводять відмивання жому протягом 1 год. Операцію повторюють ще тричі. Отримані вилучення відкидають. Потім заливають 720 мл дистильованої води, доводять температуру до 85°C і екстракують сировину протягом 1 год. Операцію повторюють і об'єднують пектинові екстракти. Подальші операції аналогічні як у способі 1, температура сушіння концентрату 30°C.

**Дослід 4.** 36 г неподрібненого бурякового жому висушують в струмі теплого повітря при температурі 50°C, завантажують в екстрактор, заливають 130 мл дистильованої води і залишають для набухання при кімнатній температурі протягом 1 години. Далі заливають 1440 мл дистильованої води, доводять температуру до 50°C, включають мішалку і відмивають жом протягом 1 год. Операцію повторюють тричі. Отримані вилучення об'єднують і відкидають. Вп'яте заливають 1440 мл дистильованої води, доводять температуру до 95°C і проводять екстракцію сировини протягом 1 год. Подальші операції аналогічні як у способі 1.

**Дослід 5.** 36 г бурякового жому висушують в струмі теплого повітря при температурі 50°C, подрібнюють до розміру часток 1-3 мм, завантажують в екстрактор, заливають 1440 мл 2,5% розчину соляної кислоти (рН 0,8), доводять температуру до 90°C, включають мішалку і протягом 1 год екстракують сировину. Пектиновий екстракт нейтралізують розчином натрію до рН 6,5. Подальші операції аналогічні як у способі 1.

**Дослід 6.** 36 г бурякового жому висушують в струмі теплого повітря при температурі 50°C, подрібнюють до розміру часток 1-3 мм, завантажують в змішувач, заливають 720 мл води кімнатної температури і перемішують при частоті обертання змішувача 5000 об/хв. протягом 10 хв. Вміст переносять кількісно в екстрактор і проводять екстракцію протягом 18 год. Потім суміш нагрівають до температури 70°C на водяній бані протягом 30 хв, фільтрують екстракт через марлю і фільтрувальний папір. Пектиновий екстракт концентрують під вакуумом до обсягу приблизно 50 мл і додають 150 мл 96% розчину етанолу, витримують на холоді 15 хв, відокремлюють від маточника фільтруванням через паперовий фільтр. Пектин переносять і сушать при температурі 40°C.

**Дослід 7.** 36 г бурякового жому висушують в струмі теплого повітря при температурі 50°C, подрібнюють до розміру часток 1-3 мм,

завантажують в екстрактор, заливають 1440 мл електроактивованої води (рН 0,8), доводять до температури 90°C, включають мішалку і проводять екстракцію-гідроліз сировини протягом 1 год. Подальші операції аналогічні описаним у способі 1.

Дані, що характеризують приклади реалізації цього способу, його аналогів і прототипу наведені в порівняльній таблиці.

Аналіз даних таблиці показує, що перший дослід є найоптимальнішим при реалізації даного способу, так як він найбільш простий у виконанні в порівнянні з дослідом 2, забезпечує досить високий вихід цільового продукту порівняно з дослідом 3 і 4, а також має хорошу желуючу здатність на відміну від відомих способів (досліди 5-7).

**Висновки.** Використання даного способу отримання пектину з бурякового жому має ряд переваг перед описаними вище технологіями. Перш за все, це виключення з технологічного процесу кислот, лугів, токсичних і пожежо-вибухонебезпечних реагентів; відсутність у необхідності використання складного спеціального технологічного устаткування при промисловій реалізації способу. До переваг відносять і усунення небажаного впливу підвищеної температури за рахунок виключення процесу упарювання на стадії концентрування пектинового екстракту з одночасним зниженням енерговитрат, а також додаткове його очищення від низькомолекулярних домішок шляхом ультрафільтрації, скорочення тривалості способу отримання цільового продукту до 12-18 год. та можливість отримання бурякового пектину з високою желуючою здатністю, досить високим виходом і низькою собівартістю.

Таблиця – Порівняльна характеристика проведених дослідів

№ досліду	Умови підготовки жому			Умови екстракції				Вихід пектину у % до сухого жому	Міцність желе по Тар-Бейкеру (°ГБ)	Загальна тривалість, год
	t, °C	Розмір частинок, мм	Час набухання, год	Спосіб відмивання (гідромодуль, t °C)	t, °C	Час екстракції, год	Гідромодуль			
1	50	1-3	1	Трикратна протитечія (1:40, +50)	90	1	1:40	25,0	348	12

2	50	3-5	2	П'ятикратна протитечія (1:40, +55)	95	2	1:40	23,2	336	18
3	50	1	0,5	Чотирьохкратне відмивання (1:40,+45)	85	1 (двічі)	1:40	14,4	284	14
4	50	-	1	Чотирьохкратне відмивання (1:40,+50)	95	1	1:40	11,9	292	12
5	50	1-3	-	-	90	1	1:40	62,4	-	6
6	50	1-3	-	-	кімнатна 70	18 0,5	1:20 -	2,6	-	20
7	50	1-3	-	-	90	1	1:40	17,5	-	6

#### Література

1. Донченко Л.В. Технологія пектина і пектинопродуктів / Л.В. Донченко. – М.: ДеЛі, 2000. – 256 с.
2. Голубев В.Н. Пектин: хімія, технологія, застосування / В.Н. Голубев, Н.Г. Шелухіна. – М.: РАТНІЕЧ, 1995. – 373 с.
3. Ільїна І.А. Научні основи технології модифікованих пектинов / І.А. Ільїна. – Краснодар, 2001. – 312 с.
4. Донченко Л.В. Пектин: основні властивості, виробництво і застосування: моногр. / Л. Донченко, Г. Фірсів. – М.: ДеЛі, 2007. – 276 с.
5. Дейніченко Г.В. Аналіз процесу екстрагування пектинових речовин з рослинної сировини / Г.В. Дейніченко, З.О. Мазняк, В.В. Гузенко // Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. – Х.: ХДУХТ, 2009. – С. 317-322.
6. Хайліс Г.А. Механіка рослинних матеріалів: Навчальний посібник / Г.А. Хайліс, Ю.В. Федорусь. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2004.

*Рецензент д.т.н., проф. В.Ф. Дідух*