

УДК 664 162.1

Н.І. Сабадаш

О.В. Грабовська, д-р техн. наук

В.О. Мірошник, канд. техн. наук

Є.В. Розборський, здобувач

N. Sabadash, O. Grabovska,

V. Miroshnik, E. Rozborskyi

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЧИЩЕННЯ
ВИСОКОМАЛЬТОЗНИХ СИРОПІВ ВІД ЗАВИСЛИХ ДОМІШОК
СОРБЕНТОМ САПОНІТ**

**THE OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERES OF
HIGHMALTOSES SYRUPS CLEANING FROM NONSOLID SUBSTANCES
BY SAPONIT SORBENT**

Розглянуто питання підвищення ефективності очищення високомальтозних гідролізатів від нерозчинних домішок. Визначено оптимальні технологічні умови очищення гідролізатів крохмалю від завислих речовин сорбентом сапоніт.

Ключові слова: *оптимальні параметри, процес очищення, сапоніт, нерозчинні домішки, високомальтозні сиропи.*

The article contains questions of increasing efficiency highmaltoses syrups cleaning from nonsolid substances. The optimal technological parametrizes for starches hydrolysis's cleaning from nonsolid substances by saponit sorbent have been established.

Key words: *optimal parametrizes, process of cleaning, saponit, nonsolid substances, highmaltoses syrups.*

В Україні до недавнього часу асортимент цукристих крохмалепродуктів обмежувався крохмальною патокою і глюкозою кристалічною гідратною. Останніми роками було значно розширено асортимент цукристих сиропів за рахунок впровадження сучасних технологій, заснованих на вибірковій дії ферментних препаратів. При гідролізі крохмалю за допомогою ферментів, завдяки їх специфічній дії, можна отримувати гідролізати різного вуглеводного складу, в тому числі з високим вмістом мальтози (більше 65 % до маси редукувальних речовин (PP)).

Властивості мальтозних сиропів визначаються присутністю мальтози. Наявність цього дисахариду надає продуктам солодкості, знижує гігроскопічність та запобігає кристалізації сахарози у продуктах. Сиропи з високим вмістом мальтози є менш в'язкими і більш солодкими в порівнянні з карамельною патокою. Їх використовують у виробництві м'яких цукерок, рулетів, тістечок, глазури для тортів. Отримані вироби мають гарний смак, добре зберігаються. Мальтозні сиропи містять велику кількість зброджуваних сахаридів, що сприяє використанню їх у пивоварінні. При цьому покращується смак пива та зменшуються витрати дорогого солоду та цукру.

Для отримання сиропів з високим вмістом мальтози суспензію кукурудзяного крохмалю гідролізували послідовно в два етапи комплексом ферментних препаратів. Розріджування крохмалю здійснювали ферментним препаратом бактеріальної α -амілази до значення глюкозного еквіваленту (ГЕ) в межах 12–18 %, яке є оптимальним для подальшого гідролізу зцукрюючими ферментними препаратами. Зцукрювання крохмального гідролізату розпочинали з додавання комплексу ферментних препаратів β -амілази та пуллуланази. Грибну α -амілазу вводили в гідролізат через 9 год. від початку процесу зцукрювання. Витрати ферментів прийняті згідно наших попередніх досліджень [3, 8]. Зцукрювання сиропу проводили протягом 48 годин при

температурі 57 °С та рН середовища 5,2-5,5. В результаті отримували сироп з масовою часткою сухих речовин 36...37 %, вмістом мальтози 74 %, глюкози – 9 % до маси РР. Перед концентруванням отриманий гідролізат необхідно очистити від нерозчинних та розчинних домішок. Ефективність видалення завислих речовин, представлених залишками білків, жиру, зернами неклеїстеризованого та ретроградованого крохмалю, суттєво впливає на витрати активного вугілля для подальшого знебарвлення високомальтозних сиропів та значно покращує їх фільтрування. Максимальне очищення сиропів від домішок обумовлює їх термостійкість, якість готової продукції та значний термін її зберігання

Метою даної роботи було підсумувати проведені дослідження і шляхом математичного оброблення дослідних даних встановити оптимальні технологічні параметри процесу очищення високомальтозних гідролізатів від нерозчинних домішок шляхом використання мінерального сорбенту сапоніт. Шляхом планування експерименту було проведено узагальнені дослідження, проаналізовано та враховано їх результати, проведено статистичне оброблення експериментальних даних. Попередньо за допомогою дослідів було встановлено, що для видалення нерозчинних домішок і покращення фільтраційної здатності необхідно додавати сорбент сапоніт у кількості 1,5 % до маси СР сиропу і витримувати протягом 15 хв, при температурі 95° С за рН гідролізату 4,75. Проте за допомогою одного змінного фактору (локального критерію) неможливо повністю описати досліджуваний процес [1, 2, 7]. Для вирішення задачі оптимізації доцільним було встановити сукупний вплив усіх чотирьох чинників, а саме витрат сорбенту, рН, тривалості та температури оброблення, на процес очищення високомальтозних гідролізатів від завислих домішок. Для цього використовували узагальнений критерій оптимізації, який дозволяє єдиним кількісним

показником узагальнити декілька обраних локальних критеріїв оптимальності [1, 2, 6, 7]:

$$F = \prod_{i=1}^n f_i'(x)^{\lambda_i} \rightarrow \max \quad (1)$$

де: $f_i'(x)$ - локальні критерії оптимальності в безрозмірній формі;
 λ_i – вагові коефіцієнти, $i = 1 \dots 4$.

Для оцінки якості та ефективності процесу очищення високомальтозних сиропів в якості основних факторів, що впливають на процес, було обрано наступні локальні критерії (в натуральній формі):

$f_1(x)$ – кількість сорбенту сапоніт, % до маси СР;

$f_2(x)$ – час контакту сорбенту сапоніт з сиропом, хв;

$f_3(x)$ – температура процесу, ° С;

$f_4(x)$ – рН середовища.

Інші фактори впливу вважаються сталими.

При виборі області проведення експерименту, а саме рівнів факторів та інтервалів їх варіювання (табл.) враховували результати лабораторних досліджень.

Розв'язання задачі оптимізації передбачає розроблення математичної моделі, яка б адекватно виражала залежність вихідних параметрів процесу (ефекту очищення високомальтозних сиропів) від вхідних факторів (кількості сапоніту; часу контакту з сиропом; температури процесу та рН середовища) [2]. Для розроблення математичної моделі нами був обраний центральний композиційний рототабельний план другого порядку, рівні факторів та інтервали варіювання якого представлені в таблиці 1. Експеримент здійснювали за певним планом – попередньо складеним оптимальним алгоритмом зміни факторів, реалізація якого дозволяє здійснити комплексний вплив на стан об'єкта дослідження [9, 10]. План експерименту був складений таким чином, щоб порядок проведення дослідів був рандомізований (випадковий), всі досліді виконувались у декількох повтореннях.

Рівні факторів та інтервали варіювання

Рівні факторів	Кількість сапоніту, % до маси СР	Час контакту сапоніту з сиропом, хв	Температура процесу, ° С;	pH середовища
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Нижній рівень	1	5	75	4.25
Основний рівень	1,5	15	85	4,75
Верхній рівень	2	25	95	5,25
Інтервал варіювання	0,5	10	10	0,5
Рівень - α	0,5	0	65	3,75
Рівень + α	2,5	35	105	5,75

В ході досліджень готували високомальтозний сироп, як вказано вище, у який додавали 1 н розчин HCl до досягнення відповідного значення pH. Сироп нагрівали в термостаті EL-20R до необхідної температури, після чого в сироп вносили сорбент сапоніт. Кількість сорбенту сапоніт, час контакту його з сиропом та температура процесу також відповідали параметрам досліді згідно з планом експерименту. По закінченні процесу проби сиропів фільтрували через беззольний фільтр та висушували осад до сталої маси. Ефект очищення розраховували за формулою 2. В якості контрольної проби використовували високомальтозний сироп з pH 4,75, в який сорбент не додавали.

$$Eф.оч. = \left(1 - \frac{\left(CP_{до} - \frac{CP_{до} \cdot GE_{до}}{100} \right) - \left(CP_{після} - \frac{CP_{після} \cdot GE_{після}}{100} \right)}{\left(CP_{до} - \frac{CP_{до} \cdot GE_{до}}{100} \right)} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

де: Еф.оч. – ефект очищення гідролізату, %; CP_1 – масова частка розчинних СР у сиропі до очищення, визначена рефрактометрично, %; CP_2 – масова частка нерозчинних СР у сиропі, визначена висушуванням відфільтрованого осаду, %; $CP_{до}$ – масова частка СР у сиропі до очищення, визначена розрахунково: $CP_{до} = CP_1 + CP_2$, %; GE_1 – глюкозний еквівалент сиропу до очищення, визначений за методом Вільштеттера та Шудля, % до маси розчинних СР; $GE_{до}$ – глюкозний еквівалент сиропу, (% до маси СР нефільтрованого сиропу), визначений розрахунково:

$$GE_{до} = \frac{CP_1 \cdot GE_1}{CP_{до}}; CP_{після} – масова частка розчинних СР у сиропі після$$

очищення, визначена рефрактометрично, %; $GE_{після}$ – глюкозний еквівалент сиропу після очищення, визначений за методом Вільштеттера та Шудля, % до маси розчинних СР.

Обробка експериментальних даних, вибір рівнянь, розрахунок та уточнення коефіцієнтів цих рівнянь здійснювали за допомогою пакету прикладних програм Mathcad Professional 2000 з використанням методу найменших квадратів. В результаті було отримано наступне рівняння локальних критеріїв оптимізації (в натуральних значеннях факторів).

$$FF(x_1, x_2, x_3, x_4) = 132,7552 - 289,2785 \cdot x_1 - 1,5838 \cdot x_3 + 0,5180 \cdot x_1^3 \cdot x_3 - 2,3310 \cdot x_1^2 \cdot x_3 + 3,4965 \cdot x_1 \cdot x_3 - 44,030 \cdot x_1^3 + 196,023 \cdot x_1^2 - 6,898 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^2 + 0,2069 \cdot x_2 - 3,408 \cdot x_4^2 + 32,376 \cdot x_4$$

(3)

За допомогою цієї моделі було визначено параметри оптимального технологічного режиму. Отримане рівняння має практичне значення і дозволяє за вихідним технологічним параметром очищення спрогнозувати хід процесу і якість отриманих гідролізатів.

Оцінку значимості коефіцієнтів проводили за критерієм Стюдента. Після вилучення несуттєвих коефіцієнтів здійснювалась оцінка адекватності одержаних математичних моделей. Придатність рівнянь регресії до розв'язання задачі пошуку області оптимуму перевіряли за критерієм Фішера [6].

Використання узагальненого критерію оптимізації вимагає перетворення локальних критеріїв оптимальності з натуральної в безрозмірну форму, яке здійснюється методом Харрінгтона [6, 9] через визначення проміжних параметрів fb_i за допомогою функції бажаності. Нові, безрозмірні значення локальних критеріїв, що отримані за допомогою функції бажаності, будуть змінюватись від 0,01 до 0,99, тому що в узагальненому критерії оптимізації вони будуть не чутливими при наближенні до 0 або 1 [10].

За допомогою програми оптимізації процесу очищення високомальтозних сиропів від завислих домішок сорбентом сапоніт було отримано лінії рівня узагальненого критерію оптимізації, які дозволяють знайти оптимальне значення параметрів очищення (рис. 1, 2, 3).

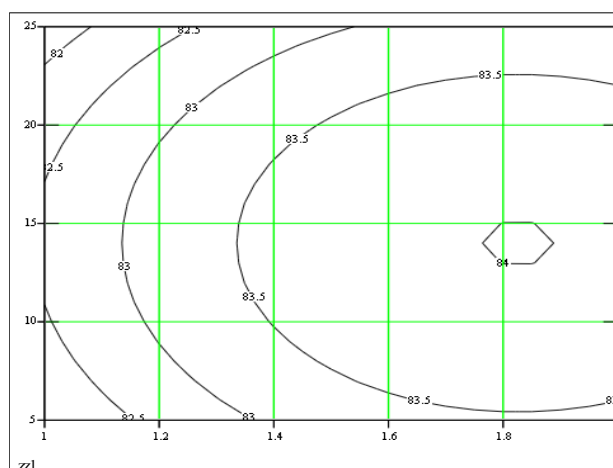


Рис. 1. Лінії рівня оптимальних параметрів оброблення сиропу сорбентом сапоніт в координатах: витрата сапоніту і час контакту з сиропом, інші фактори на оптимальному рівні

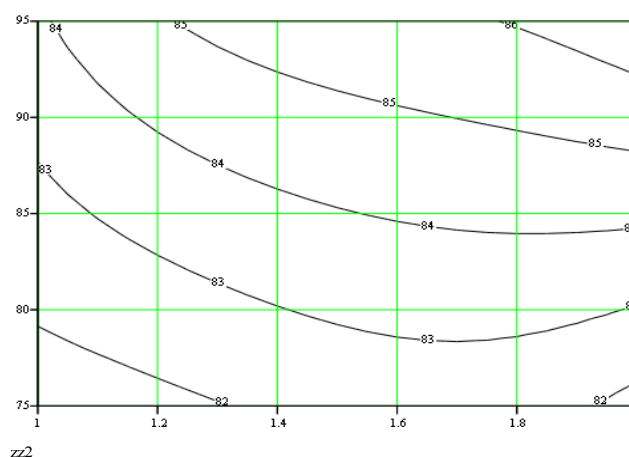


Рис. 2. Лінії рівня оптимальних параметрів оброблення сиропу сорбентом сапоніт в координатах: кількість сапоніту і температура процесу, інші фактори на оптимальному рівні

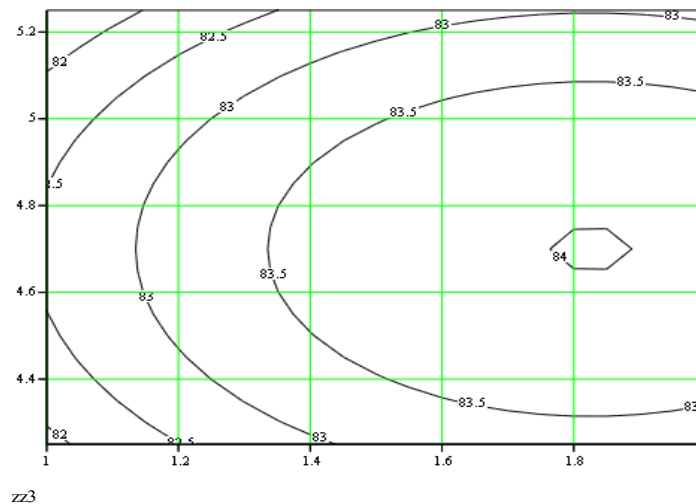


Рис. 3. Лінії рівня оптимальних параметрів оброблення сиропу сорбентом сапоніт в координатах: кількість сапоніту і рН середовища, інші фактори на оптимальному рівні

За допомогою математичної моделі було визначено параметри оптимального технологічного режиму: витрати сорбенту сапоніт 1,5 % до маси сухих речовин сиропу; тривалість оброблення сиропу сапонітом 15 хв при температурі 95°C за умови рН 4,75. Ці дані узгоджуються із даними, отриманими при проведенні попередніх експериментальних досліджень.

В результаті повторних досліджень за визначених оптимальних параметрів було встановлено, що такі параметри процесу очищення високомальтозних гідролізатів сорбентом сапоніт забезпечують покращення фільтраційних властивостей гідролізатів і підвищення ефекту очищення.

Висновки:

На основі експериментальних досліджень отримано математичну залежність величини ефекту очищення високомальтозних сиропів від витрат сапоніту; часу контакту сорбенту з сиропом; температури процесу та рН середовища. Розроблено узагальнений критерій оптимізації, який дає можливість визначити оптимальні рівні всіх чотирьох досліджуваних факторів у процесі очищення.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. *Аністратенко В.О., Федоров В.Г.* Математичне планування експериментів в АПК. – К.: Вища школа, 1993. – 375 с.
3. *Гордійчук Н.І., Грабовська О.В., Штангеева Н.І., Розборський Є.В.* Вивчення кінетики зцукрювання крохмалю до мальтози шляхом застосування комбінацій ферментних препаратів // Цукор України. – 2006. – № 6. – С. 26-29.
4. Дослідження технологічних умов очищення мальтозних гідролізатів крохмалю / Н.І. Гордійчук (Сабадаш), О.В. Грабовська, В.В. Кириченко, Є.В. Розборський // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 58. – С. 194-201.
5. *Ермаков С.М., Жигляевский А.Л.* Математическая теория оптимального эксперимента. – М.: Наука, 1987 – 319 с.
6. *Кафаров В.В., Глебов М.Б.* Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
7. *Мальцев П.М., Емельянова Н.А.* Основы научных исследований. – К.: Вища школа, 1982. – 192 с.
8. *Сабадаш Н.І., Грабовська О.В., Мірошник В.О., Розборський Є.В.* Оптимізація технологічних параметрів отримання високомальтозних сиропів із крохмалю // Наукові праці НУХТ. – 2008. – №24. – С. 70-73.
9. *Остапчук Н.В.* Основы математического моделирования процессов пищевых производств. – К.: Вища школа, 1981. – 304 с.
10. *Пытьев Ю.П.* Методы анализа и интерпретации эксперимента. – М.: Издательство, 1990. – 288 с.

Надійшла до редколегії 09.02.2009 р.