УДК 615.32:338.314

О. І. Зайцев, М. М. Бойко, Л. В. Нефьодова

Національний фармацевтичний університет, м. Харків

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ЕКСТРАГЕНТУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВИТЯЖОК З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

У статті запропоновано критерій техніко-економічного обґрунтування процесу екстрагування, представлено методику прогнозування оптимальної кількості екстрагенту при екстракції рослинної сировини та знайдені умови без збитковості процесу проведення екстракції.

Ключові слова: екстрагування, оптимізація, кількість екстрагента, техніко-економічний показник.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При проведенні процесу екстракції одним з важливих питань є вибір кількості екстрагенту. Залучення великої кількості екстрагенту дозволяє отримати більшу ступінь вилучення екстрактивних речовин, але потребує при цьому більше коштів на використаний недешевий екстрагент. Вибір кількості екстрагенту, що подається на екстракцію можливо визначити тільки на підставі техніко-економічного обґрунтування. Відомо багато показників економічності проведення процесу. Але вони уявляються громіздкими у визначенні і тому на наш погляд найбільш придатним є показник рентабельності процесу – ефективність використання елемента оборотних коштів для збільшення доходності виробництва. Елементом оборотних коштів при проведенні екстракції з сталою кількістю рослинної сировини (або на 1 кг), який можна змінювати у процесі екстракції є кількість екстрагенту (або кошти на витрачаєму кількість екстрагенту). Прибутковість виробництва визначається коштами отриманого екстракту, яку можливо представити сумою коштовності екстрактивний речовин в екстрагенті та коштовністю екстрагенту в екстракті.

Таким чином техніко-економічний показник ефективності проведення процесу екстракції – це рентабельність процесу, який визначається за виразом:

$$K_{opt} = \frac{\text{ціна екстрактивних речовин} \cdot \text{ціна екстагента в екстракті}}{\text{ціна екстрагенту}}, \quad (1)$$

Який для знайдених вимог проведення процесу (кількості екстрагенту, який витрачається) повинен мати найбільше значення.

Кількість отриманих речовин у разі проведення процесу екстракції визначається з матеріального балансу та кінетичних залежностей процесу [6].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Екстракція лікарської рослинної сировини отримало широке розповсюдження у виготовленні препаратів природних сполук, як одна з основних стадій вилучення біологічно активних речовин з подальшою переробкою в екстракти та препарати [2, 5, 7]. Процес екстрагування з твердої сировини обумовлюється загальними законами масопередачі, властивостями рослинної тканини та фізико-хімічною спорідненістю розчинника з вилученою речовиною [1, 3, 6].

ФОРМУЛЮВАННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Під час вивчення літератури з питань оптимізації кількості екстрагенту при виробництві витяжок з рослинної сировини, авторами не було знайдено обговорення цього питання відносно рентабельності процесу екстракції.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою даної роботи було визначення критерію техніко-економічного обґрунтування для визначення оптимальної кількісті екстрагенту,

© Зайцев О. І., Бойко М. М., Нефьодова Л. В., 2014

що подається при екстракції рослинної сировини; запропонувати методику прогнозування залучення оптимальної кількості екстрагенту при екстракції рослинної сировини; знайти умови без збитковості проведення процесу екстракції

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Матеріальний баланс по екстрактивній речовині має вигляд:

$$G_f \cdot X_f = \left(G_f \cdot X_r + \Delta G_e \cdot Y_e\right) + G_e \cdot Y_e = G_f \cdot X_f + G_s \cdot Y_e \quad (2)$$

де G_f — кількість початкової рослинної сировини в перерахунку на тверду речовину, *кг*;

G_S, G_e — кількість початкового екстрагенту та екстрагенту в екстракті, кг;

ΔG_e — кількість екстрагенту в екстракті, який затримується твердою речовиною, *кг*;

X_f X_r — відносна концентрація екстрактивних речовин відповідно у початковій рослинної сировини та у рафінаті в 1 кг твердої речовини;

Y_e — відносна концентрація екстрактивних речовин в 1 кг екстракту.

Безумовно процес екстракції проводиться до стану досягнення рівноваги. Тому концентрація екстрактивної речовини у екстракті та у рафінаті (шроті) виражаються згідно з урахуванням теорії масопередачі при рівноважних умовах, між якими зв'язок описується коефіцієнтом розподілу речовини (m) між фазами (твердою та рідинною) у вигляді:

$$m = \frac{Y_e}{X_r} \quad (3)$$

Коефіцієнт розподілу, як правило, має постійне значення (або близько до постійного значення), яка знаходиться дослідним шляхом.

Крім цього на техніко-економічні показники впливає властивість твердої речовини утримувати у своїй структурі екстракт, як продукт процесу. Кожній структурі твердої речовини відповідає своє постійне значення коефіцієнта утримання (K_u), який знаходиться у додаткових дослідах з розрахунку:

$$K_u = \frac{\Delta G_e}{G_f} = \frac{G_s - G_e}{G_f} \quad (4)$$

Рівняння (2)-(4) дозволяють провести розрахунки процесу екстракції з визначенням вихідних потоків та концентрацій. Це дає можливість з урахуванням ціни екстрагенту (Z_s) та екстрактивної речовини (Z_{ev}) розгорнути рівняння (1) до вигляду:

$$K_{opt} = \frac{G_e \cdot Z_s + G_e \cdot Y_e \cdot Z_{ev}}{G_s \cdot Z_s} =$$

$$= \frac{(G_s - K_u \cdot G_f) \cdot Z_s + (G_s - K_u \cdot G_f) \cdot Y_e \cdot Z_{ev}}{G_s \cdot Z_s} = \quad (5)$$

$$= 1 - \frac{K_u \cdot G_f}{G_s} + Y_e \cdot N - \frac{K_u \cdot G_f}{G_s} \cdot Y_e \cdot N =$$

$$= 1 - \frac{K_u}{\beta} + \frac{m \cdot N \cdot X_f}{1 + \beta \cdot m} - \frac{K_u \cdot N \cdot m \cdot X_f}{\beta \cdot (1 + \beta \cdot m)}$$

де N — відношення ціни екстрактивних речовин до ціни екстрагенту;

β — коефіцієнт надлишку екстрагенту, тобто відношення кількості початкового екстрагенту до кількості рослинної речовини.

Згідно закону математичного аналізу, при пошуку максимального значення K_{opt} треба рівняння (5) продиференціювати та потім дорівняти до нуля з визначенням β_{opt}. В результаті проведення диференціювання було отримано громіздке квадратне рівняння відносно β, рішенням якого знаходили β_{opt}.

Крім цього цікавим техніко-економічним показником є точка беззбитковості [4], відносно проведення процесу екстракції – це прибуток з реалізації отриманого екстракту, який дорівнює коштам на витрачений екстрагент. Тобто, яке повинно бути співвідношення екстрагент/сировина при якому коефіцієнт K_{opt} з виразу (5) дорівнює одиниці? Після математичних перетворень співвідношення екстрагент/сировина у точці беззбитковості проведення процесу екстракції знаходиться як:

$$\beta_{bz} = \frac{K_u}{m} \cdot \frac{m \cdot N \cdot X_f + 1}{N \cdot X_f - K_u} \quad (6)$$

Завдяки отриманим розрахунковим моделям, було вивчено вплив характеристик систем (початкова кількість екстрактивних речовин у сировині, рівноважний коефіцієнт розподілу екстрактивної речовини між твердою та рідкою фазами, коефіцієнтом утримання екстракту твердою речовиною та співвідношення ціни екстрактивної речовини до ціни екстрагенту) на оптимальне співвідношення екстрагент/сировина. Результати досліджень представлені у табл. 1 - 4.

Як видно з табл. 1, при варіюванні величини коефіцієнта розподілу (m) в межах від 0,3 до 3,0 відношення коефіцієнту оптимального надлишку екстрагенту та коефіцієнту співвідношення екстрагент/сировина у точці беззбитковості варіюється від 2,1 до 2,4.

Таблиця 1

ВПЛИВ РІВНОВАЖНОГО КОЕФІЦІЄНТА РОЗПОДІЛУ ЕКСТРАКТИВНОЇ РЕЧОВИНИ НА ОПТИМАЛЬНЕ СПІВВІДНОШЕННЯ ЕКСТРАГЕНТ/СИРОВИНА

Постійні характеристики системи	Величина m	β_{opt}	β_{bz}	$K_\beta = \frac{\beta_{opt}}{\beta_{bz}}$
$X_f = 0{,}01$ $K_u = 2{,}0$ $N = 100$	0,3	8,1	3,3	2,4
	0,7	6,4	2,9	2,2
	1,0	6,0	2,8	2,2
	1,4	5,7	2,7	2,1
	1,8	5,5	2,6	2,1
	2,0	5,5	2,6	2,1
	3,0	5,3	2,6	2,1

Таблиця 2

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА УТРИМАННЯ ЕКСТРАКТУ ТВЕРДОЮ РЕЧОВИНОЮ НА ОПТИМАЛЬНЕ СПІВВІДНОШЕННЯ ЕКСТРАГЕНТ/СИРОВИНА

Постійні характеристики системи	Величина K_u	β_{opt}	β_{bz}	$K_\beta = \frac{\beta_{opt}}{\beta_{bz}}$
$X_f = 0{,}01$ $m = 1{,}0$ $N = 100$	1,2	3,4	1,5	2,3
	1,5	4,3	1,9	2,2
	1,8	5,3	2,4	2,2
	2,0	6,0	2,8	2,2
	2,3	7,0	3,3	2,1
	2,7	8,6	4,1	2,1
	3,0	9,9	4,7	2,1
	4,0	15,2	7,3	2,1

Як видно з табл. 2, при варіюванні величини коефіцієнта утримання екстрагенту (K_u) в межах від 1,2 до 4,0 відношення коефіцієнту оптимального надлишку екстрагенту та коефіцієнту співвідношення екстрагент/сировина у точці беззбитковості варіюється від 2,1 до 2,3.

Як видно з табл. 3, при варіюванні величини відносної концентрації екстрактивних речовин у початковій рослинної сировини (X_f) в межах від 0,04 до 0,25 відношення коефіцієнту оптимального надлишку екстрагенту та коефіцієнту співвідношення екстрагент/сировина у точці беззбитковості варіюється від 2,1 до 2,2.

Як видно з табл. 4, при варіюванні величини відношення ціни екстрактивних речовин до ціни екстрагенту (N) в межах від 50 до 50 000 відношення коефіцієнту оптимального надлишку екстрагенту та коефіцієнту співвідношення екстрагент/сировина у точці беззбитковості варіюється від 2,1 до 2,2.

З отриманих результатів спостерігається цікава залежність у тому, що відношення $\frac{\beta_{opt}}{\beta_{bz}}$ змінюється в достатньо вузькому інтервалі і може бути прийнятою постійною величиною – 2,2±0,2.

Таблиця 3

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ЕКСТРАКТИВНОЇ РЕЧОВИНИ У ПОЧАТКОВІЙ РОСЛИННІЙ СИРОВИНИ НА ОПТИМАЛЬНЕ СПІВВІДНОШЕННЯ ЕКСТРАГЕНТ/СИРОВИНА

Постійні характеристики системи	Величина X_f	β_{opt}	β_{bz}	$K_\beta = \frac{\beta_{opt}}{\beta_{bz}}$
$K_u = 2{,}0$ $m = 1{,}0$ $N = 100$	0,04	10,5	5,0	2,1
	0,07	6,9	3,2	2,1
	0,10	6,0	2,7	2,2
	0,12	5,7	2,6	2,2
	0,14	5,4	2,5	2,2
	0,18	5,2	2,4	2,2
	0,20	5,1	2,3	2,1
	0,25	5,0	2,3	2,2

Таблиця 4

ВПЛИВ СПІВВІДНОШЕННЯ ЦІНИ ЕКСТРАКТИВНОЇ РЕЧОВИНИ ДО ЦІНИ ЕКСТРАГЕНТУ НА ОПТИМАЛЬНЕ СПІВВІДНОШЕННЯ ЕКСТРАГЕНТ/СИРОВИНА

Постійні характеристики системи	Величина N	β_{opt}	β_{bz}	$K_\beta = \frac{\beta_{opt}}{\beta_{bz}}$
$X_f = 0{,}01$ $m = 1{,}0$ $K_u = 100$	50	8,5	4,0	2,1
	80	6,5	3,0	2,1
	100	6,0	2,7	2,2
	130	5,5	2,5	2,2
	170	5,3	2,4	2,2
	200	5,1	2,3	2,2
	300	4,9	2,2	2,2
	400	4,8	2,2	2,2
	50000	4,4	2,1	2,2

З отриманих результатів спостерігається цікава залежність у тому, що відношення $\frac{\beta_{opt}}{\beta_{bz}}$ змінюється в достатньо вузькому інтервалі і може бути прийнятою постійною величиною – 2,2±0,2.

Ця особливість дає змогу знайти оптимальне співвідношення екстрагент/сировина більш простим способом, а саме з початку знайти співвідношення екстрагент/сировина при беззбитковості за більш простим рівнянням (6) та помножити на 2,2.

Аналізуя рівняння (6) з накладенням фізичного змісту процесу екстракції вираз $\left(N \cdot X_f - K_u\right)$ повинен бути більше нуля або:

$$N \rangle \frac{K_u}{X_f}$$

Тобто, беззбитковість процесу екстракції буде досягатися, коли співвідношення ціни екстрактивної речовини до ціни екстрагенту буде більше відношення коефіцієнта утримання екстракту твердою речовиною до початкової концентрації екстрактивної речовини в рослинної сировини.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК

1. Визначено критерій техніко-економічного обґрунтування за яким можливо визначити оптимальну кількість екстрагенту, що подається при екстракції рослинної сировини;

2. Знайдена методика прогнозування залучення оптимальної кількості екстрагенту при екстракції рослинної сировини;

3. Отримані умови без збитковості проведення процесу екстракції.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Екстракція рослинної сировини : навч. посібник / Ю. І. Сидоров, І. І. Губицька, Р. Т. Конечна, В. П. Новіков. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 336 с.

2. Настойки, экстракты, эликсиры и их стандартизация / Сост.: А. Е. Александрова, А. П. Арзамасцев, В. Л. Багирова и др. – СПб. : СпецЛит, 2001. – 223 с.

3. Пономарёв В. Д. Экстрагирование лекарственного сырья / В. Д. Пономарёв – М.: Медицина, 1976. – 202 с.

4. Посилкіна О. В. Економіка, планування та організація хіміко-фармацевтичного виробництва : навч. посіб. / О. В. Посилкіна, Р. В. Сагайдак – Х.: Вид-во НФаУ «Золоті сторінки», 2004. – 158 с.

5. Пронченко Г. Е. Лекарственные растительные средства. Справочник / Под ред. А.П. Арзамасцева, И.А. Самылиной. – М. : ГЭОТАР МЕД, 2002. – 288 с.

6. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В.П. Новіков. – Вінниця: НОВА КНИГА, 2009. – 816 с.

7. Samuelsson G. Drugs of natural origin / G. Samuelsson. – Stockholm: Swedish Pharmaceutical, 1999. – 253 p.

УДК 615.32:338.314

А. И. Зайцев, Н. Н. Бойко, Л. В. Нефедова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ЭКСТРАГЕНТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫТЯЖЕК ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В статье предложен критерий технико-экономического обоснования процесса экстрагирования, представлена методика прогнозирования оптимального количества экстрагента в процессе экстракции растительного сырья, а также найдены условия безубыточности процесса проведения экстракции.

Ключевые слова: экстрагирование, оптимизация, количество экстрагента, технико-экономический показатель.

UDC 615.32:338.314

A. I. Zaitsev, N. N. Boyko, L. V. Nefedova

DETERMINATION OF THE RATIONAL QUANTITY OF EXTRAGENT DURING PRODUCTION OF EXTRACTS FROM PLANT RAW MATERIALS

The article sets the criteria of techno-economic substantiation of the extraction process, introduces the prediction technique of optimal quantity of extragent during the process of plant raw materials extraction and breakeven conditions of the extraction process found.

Key words: extraction, optimization, quantity of extragent, techno-economic indicator.

Адреса для листування:
61140, м. Харків, вул. Невського, 18.
Кафедра ПАХФП НФаУ
Тел. +38(057)7718152
E-mail: Boykoniknik@gmail.com

Надійшла до редакції:
22.05.2014