

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Е.П. Кошевой, В.Е. Тарасов, А.Б. Боровский
Химико-технологический факультет, Краснодарский политехнический институт, 350670 Краснодар, Московская 2, СССР

SUMMARY

Применяя методологию системного анализа, мы исследовали свойства семян подсолнечника и механизм процессов, протекающих в семенах при хранении. Создана математическая модель и даны рекомендации по рациональному хранению семян подсолнечника. Решён ряд задач тепло- и массообмена в хранящейся и вентилируемой семенной массе.

Учитывая особенности массопереноса в твёрдых и жидких объектах, сформулирована модель многоступенчатой равновесной экстракции, модель нелинейного двухкомпонентного массопереноса и модель противоточного экстрагирования. Разработанные модели применялись при анализе процессов экстрагирования для создания эффективных технологических схем производства растительных масел.

New processes and equipment intended to work present-day oil-bearing raw material (sunflower seed hybrids) must meet the requirements of the intensive highly-mechanized and automated production. The methodology of the system analysis is considered to be the scientific basis of the problem. Method of mathematical simulation is assumed to be as essential in the report. Investigation of sunflower seeds properties and process mechanism (taking place in seeds stored) leads to the development of mathematical models and recommendations as to how to store sunflower seeds.

Some problems of heat-and mass exchange in seeds stored and ventilated have been set and resolved in the investigation. Taking into account mass-transfer peculiarities in liquids and solids, a model of non-linear multi-component mass-transfer has been offered. Asymptotic solutions as programming means have been obtained which made it possible for the direct and reverse problems to be resolved on a computer. The above model has been used to analyze extraction, conditioning and drying processes. An operational system for analysis and synthesis of vegetable oil production effective flow diagram has been developed and used for computer simulation. Basic principles found in the investigation have been effectively used in the large-scale production.

INTRODUCTION

Дальнейшее совершенствование производства растительных масел возможно на основе научно обоснованных рекомендаций. Современная методология научных исследований базируется на системном подходе, заключающемся в выявлении структурных элементов объекта, установлении между ними взаимозависимости и взаимосвязанности и последующем математическом моделировании.

Технологическая схема производства растительных масел обладает всеми признаками сложной химико-технологической системы (ХТС) и может быть формализована функционально-структурной схемой (ФСС) (рис. I), которая отражает последовательность выполнения основных операций с указанием обобщённых коэффициентов передачи A_{ji} , характеризующих операции преобразования вектора качественных характеристик материала. Критерием степени совершенства ФСС следует считать максимальное значение обобщённого показателя качества.

Системный подход к формированию качества исходного сырья связан с определением вектора качественных характеристик. Учитывая большое число показателей, а так же различные возможности их применения для практических целей анализа в условиях действующего производства, отбор информативных признаков осуществлялся на основе применения многомерных статистических методов корреляционного анализа: расчёта итерированной силы и метода главных компонент, дополненных расчётом информационных критериев. Результаты расчёта итерированной силы и групповой дисперсии составляющих вектора качественных показателей приведены в табл. I.

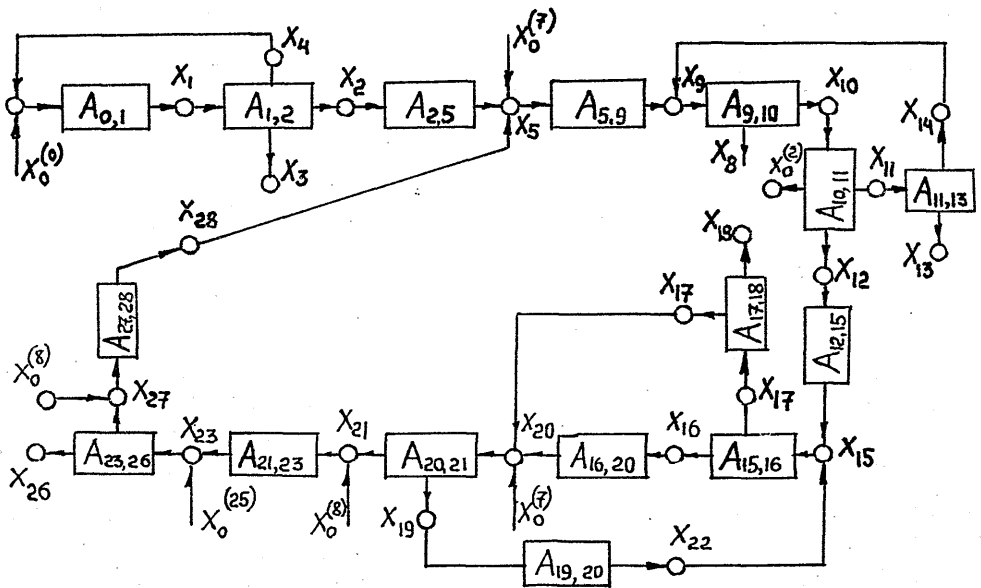


Рис. I. Функционально-структурная схема производства растительных масел

Обобщенные коэффициенты передачи: $A_{0,1}$ - обрушивание; $A_{1,2}$ - сепарирование рушанки; $A_{2,5}$ - вальцование; $A_{5,9}$ - увлажнение; $A_{9,10}$ - жарение; $A_{10,12}$ - прессование; $A_{11,13}$ - первичная очистка; $A_{12,15}$ - подготовка жмыха; $A_{15,16}$ - экстракция; $A_{17,18}$ - тостирование; $A_{16,20}$ - подогрев мисцеллы; $A_{20,21}$ - дистилляция; $A_{19,22}$ - конденсация паров; $A_{27,28}$ - приготовление раствора ПАВ.

Векторы качественных характеристик материала: $X_0^{(0)}$ - исходные семена; X_1 - рушанка; X_2 - ядро; X_3 - лузга; X_4 - недорущ; X_5 - мятка; $X_0^{(7)}$ - пар; $X_0^{(8)}$ - вода; X_9 - увлажнённая мятка; X_{10} - мезга; X_{11} - сырое прессовое масло; X_{12} - жмых; X_{13} - фильтрованное прессовое масло; X_{14} - осечь; X_{15} - лепесток; X_{16} - мисцелла; X_{17} - шрот+бензин; X_{18} - шрот; X_{19} - пары бензина; X_{20} - подогретая мисцелла; X_{21} - маслоэкстракционное; X_{22} - бензин; X_{23} - гидратированное масло; X_{24} - фосфатидный концентрат; $X_0^{(25)}$ - раствор щёлочи; X_{26} - рафинированное масло; X_{27} - соапсток; X_{28} - раствор ПАВ.

Таблица I

Результаты расчёта итерированной силы и групповой дисперсии составляющих вектора качественных показателей

Наименование показателей	Итерированная сила	Нагрузка на главные компоненты		Групповая дисперсия
		на 1-ую	на 2-ую	
Микротравмируемость	507	0,771	-0,106	0,606
Массовая доля масляной примеси	565	0,852	-0,265	0,796
Кислотное число масла в семенах	599	0,899	0,271	0,873
Перекисное число масла	581	0,895	0,045	0,803
Содержание коричневых пигментов	604	0,925	0,085	0,863
Экстракция гексановых мисцелл				
232 нм	578	0,895	-0,048	0,803
268 нм	591	0,893	0,101	0,808
Активность липазы	546	-0,735	0,593	0,831
Активность липокси-геназы	311	0,437	0,455	0,398
Всхожесть	608	-0,925	-0,119	0,870
Интенсивность дыхания	605	0,883	-0,329	0,888
Влажность	487	0,290	0,950	0,987

Как видно из табл. I, результаты ранжирования по двум методам различны. По итерированной силе наиболее информативными являются всхожесть, интенсивность дыхания, содержание коричневых пигментов, кислотное число. Этим показателям соответствуют наиболее значимые нагрузки в первой главной компоненте, характеризующей порчу семян. При компонентном анализе к этим показателям добавляется влажность семян. По величине объясняемой групповой дисперсии наиболее показательны влажность, интенсив-

ность дыхания, всхожесть, содержание коричневых пигментов, кислотное число. Для практического исследования необходимо оценить данные показатели по информативным критериям, учитывающим как затраты времени на определение данного показателя, так и точность аналитической методики. Расчёт по критерию количества информации, доставляемой экспрессными методами анализа, показал, что наибольшей информативностью обладают влажность и кислотное число масла семян. Для оценки обобщенного критерия качества вектор качественных характеристик должен включать дополнительно следующие показатели: масличность и лужистость семенной массы и содержание протеина.

В данной работе сообщается о проводимых нами исследованиях, реализующих системный подход в области основной технологической операции получения растительных масел — экстрагировании семян подсолнечника.

MATERIALS AND METHODS

Объект исследования — семена подсолнечника отечественной селекции урожая 1984–87 гг, а так же промышленные образцы жмыха и шрота, полученные в производственных условиях. При анализе использованы общепринятые методы исследования структуры масличного материала и процессов влаго-тепловой обработки, прессования и экстрагирования.

Эксперименты проводились с учётом разработанных теоретических положений и осуществлялись в нескольких повторностях для обеспечения точности определяемых величин. Полученные результаты подвергались статистической обработке для определения доверительных границ расчётных величин.

RESULTS AND DISCUSSION

По существующим представлениям, масло в подготовленном к экстракции материале распределяется в виде тончайших плёнок на поверхности частиц, а так же в заполненных вскрытых клетках и внутри невскрытых клеток. Считается, что масло удерживается различными формами связи с твёрдой фазой.

Нами предложена двухзонная модель твёрдой фазы масличного материала рис.2, учитывающая основные её особенности: пористость и действие сил адсорбции.

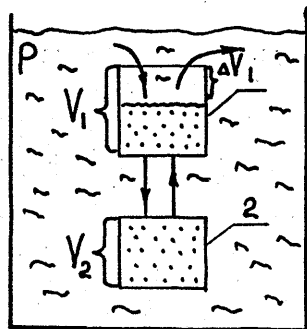


Рис.2

P — внешний объём растворителя;
 V_1 и V_2 — объёмы твёрдой фазы, занятые "свободными" и "адсорбированными" экстрактивными веществами;

ΔV — свободный объём твёрдой фазы, заполняемый при пропитке.

Принято, что внутренняя зона твёрдой фазы содержит масло в "адсорбированном" состоянии, а внешняя — в "свободном". При этом внешняя зона взаимодействует с объёмом растворителя и в равновесии концентрация во внешней зоне и объёме растворителя P становятся равными.

Между равновесными концентрациями во внешней зоне I и во внутренней - 2 равенства не устанавливается, и отношение концентраций внутренней и внешней зон является коэффициентом адсорбции.

Идентифицировать параметры предложенной модели твёрдой фазы можно по соответствующим экспериментальным данным и уравнению простой многоступенчатой равновесной экстракции:

$$\left(\frac{C_n}{C_0}\right)_N = \frac{\beta}{\beta + \gamma(1-\alpha)} \left(\frac{\beta}{\beta + \gamma}\right)^{n-1} \left(\frac{\beta}{\beta + \frac{1}{\Gamma}}\right)^{N-n} \quad (I)$$

где: C_0 и C_n - концентрации экстрагируемых веществ в объёме пор твёрдой фазы - исходная и в конце процесса, кг/м³;

$$\beta = \frac{V}{\rho}; \quad \alpha = \frac{\Delta V}{\rho}; \quad \gamma = \frac{1 + \Psi}{1 + \Psi\Gamma}; \quad \Psi = \frac{V_2}{V_1};$$

$V = V_1 + V_2$ - объём пор твёрдой фазы, м³;

Γ - коэффициент адсорбции показывает во сколько раз концентрация экстрагируемых веществ в объёме V_2 больше в равновесных условиях по сравнению с концентрацией в объёме V_1 ;

N, n - номера ступеней экстракции.

Результаты статистики простой равновесной экстракции подсолнечной мятки и жмыха с соотношением материал : растворитель 1 : 3 представлены на рис. 3

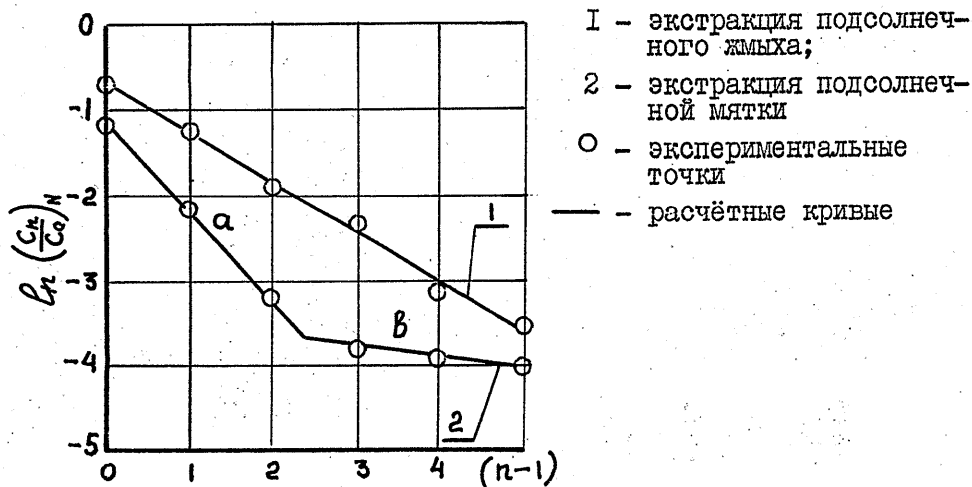


Рис. 3

Для подсолнечной мятки установлено наличие внешней и внутренней зон (на рис.2 соответственно участки кривой 2 а и в), а для подсолнечного жмыха с исходной маслячностью 14-15% внешняя зона практически отсутствует. Параметры процесса экстрагирования идентифицировались по методике, описанной Кошевым Е.П. (Кошевой Е.П., 1986), результаты приведены в табл.2.

Таблица 2

Параметры процесса экстрагирования

Параметры	Экстрагируемый материал	
	подсолнечная мятка	подсолнечный жмых
α	$1,63 \cdot 10^{-1}$	$0,81 \cdot 10^{-1}$
$\Delta V, \text{ м}^3/\text{кг}$	$4,89 \cdot 10^{-4}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$
$V, \text{ м}^3/\text{кг}$	$1,06 \cdot 10^{-3}$	$0,41 \cdot 10^{-3}$
$P, \text{ м}^3/\text{кг}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
β	0,354	0,135
Γ	12,1	3,3

Как видно из таблицы, масло в растительном материале находится в частично адсорбированном состоянии. Более глубокое измельчение материала, режимы влаготеплового воздействия, а также подготовка структуры влияют на силы связи масла. Нами проведен эксперимент по определению возможности перевода масла в менее связанное состояние путём обработки материала поверхностно-активными веществами (ПАВ). В качестве ПАВ, в частности, использованы натриевые мыла смеси жирных кислот, полученные при нейтрализации растительных масел (см. рис.1). Предложенная технология была опробована в производственных условиях и описана Тарасовым В. (Тарасов В.Е., 1985). Технологическая схема подготовки материала к прессованию приведена на рис.4. Установлено, что при обработке материала с ПАВ происходит высвобождение части "адсорбированного" масла за счёт адсорбции на поверхности твёрдой фазы ПАВ и вытеснения таким образом масла из внутренней зоны во внешнюю.

С учётом развитых представлений о состоянии экстрагируемых веществ в твёрдой фазе и имеющихся данных о концентрационной зависимости коэффициентов диффузии сформулирована математическая модель двухкомпонентной диффузии для описания процесса экстрагирования в отдельной частице:

$$\frac{\partial C_1}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial X} \left[D_{11}(C_1) \frac{\partial C_1}{\partial X} + D_{12}(C_2) \frac{\partial C_2}{\partial X} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial C_2}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial X} \left[D_{21}(C_1) \frac{\partial C_1}{\partial X} + D_{22}(C_2) \frac{\partial C_2}{\partial X} \right]$$

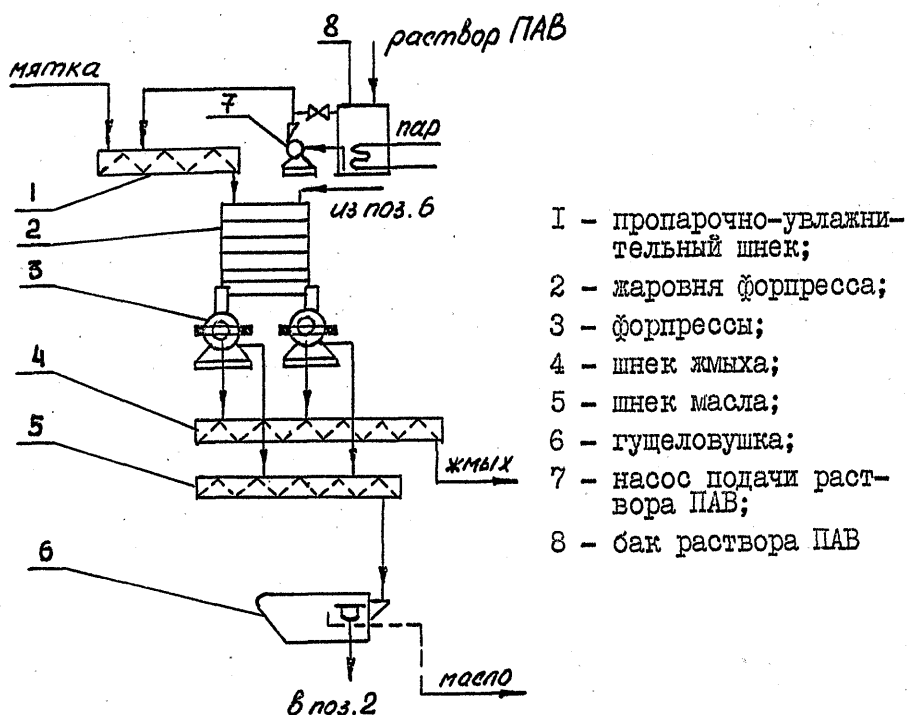


Рис. 4

При допущении экспоненциальных концентрационных зависимостей для коэффициентов диффузии с использованием преобразования Кирхгофа задача сводится к системе линейных дифференциальных уравнений. Показана возможность получения аналитического решения на асимптоте аналогично задаче многокомпонентной диффузии.

Экспериментальные данные кинетики экстракции подсолнечной мятки и полученные по модели приведены на рис. 5.

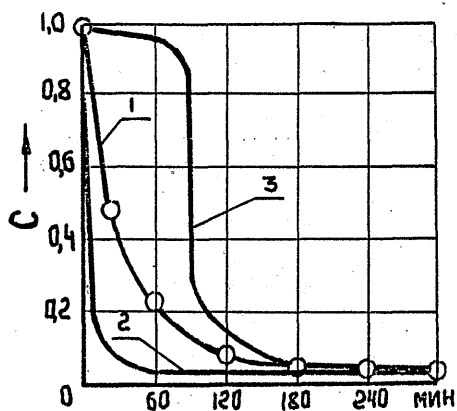


Рис. 5

- 1 - изменение общей концентрации экстрагируемых веществ;
 2 - изменение концентрации "свободного" масла;
 3 - изменение концентрации "адсорбированного" масла

Очевидно, что с момента начала экстрагирования идёт извлечение "свободного" масла и только через определённое время начинается извлечение и "адсорбированного" масла. Так приведённая модель позволяет с большой точностью описать экспериментальные данные и определить не только интегральное изменение масличности, но и изменение концентрации в каждой зоне.

Следующим этапом системного анализа процесса экстрагирования явилось математическое моделирование организации противоточного экстрагирования. Как установлено, для противоточного экстрагирования "кажущееся" число единиц переноса $N_{к.т.}$ ("кажущееся" потому, что рассматривается противоточное контактирование в режиме "идеального вытеснения") определяется по соотношению:

$$N_{к.т.} = \frac{1}{1 - \beta_{пр}} V_n \frac{1 - (1 - \alpha) \sum \beta_{пр}}{1 - \sum} \quad (3)$$

$$\beta_{пр} = \beta \Gamma \quad (4)$$

где: \sum - эффективность экстракции.

Основываясь на определении числа единиц переноса с учётом экспериментальных данных по свойствам экстрагируемых масличных материалов, можно оценить эффективность производственных схем переработки масличных материалов.

CONCLUSIONS

Выполненные исследования позволили установить следующее:

- технологическая схема производства растительных масел обладает всеми признаками сложной химико-технологической системы;
- вектор состояния обобщённого критерия качества должен включать следующие показатели: влажность, масличность, дужкистость, кислотное число масла семян, содержание протеина;
- процесс экстракции является основным (по числу связей в ФФС и влиянию на критерий эффективности системы) в схеме производства растительных масел;
- масличные материалы, подготовленные к извлечению масла, могут быть представлены двухзонной моделью, включающей структурные и адсорбционные параметры;

Комплекс системных исследований процесса экстрагирования масличных материалов выполнен на различных иерархических уровнях - от отдельной частицы до аппарата со сложной организацией процесса. При этом разработана методология оценки свойств масличного материала как объекта экстракции.

Результаты математического моделирования с последующей производственной проверкой выводов из них вытекающих позволили сформулировать рекомендации по повышению эффективности основного процесса производства растительных масел (Тарасов В.Е., 1985).

REFERENCES

- Кошевой Е., Косачев В., Тарасов В., 1986, Интенсификация внутреннего массопереноса при экстракции растительных

масел, Прикладная химия, 59: 2170-2174.
Тарасов В., Арутюнян Н., Кошевой Е., 1985, Подготовка маслосодержащих материалов к извлечению масла, Масло-жировая промышленность, 10: 27-29.
Авт. свид. № 1161540 (СССР), 1985.