

УДК 532.5:627.8.034.96
ББК 22.25.3
И-88

Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: 8(861) 2752279;

Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: 8(861) 2752279;

Рудич Евгений Михайлович, кандидат технических наук;

Схалыхов Анзаур Адамович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, декан технологического факультета ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, тел.: 8(8772) 570412;

Чундышко Вячеслав Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности и прикладной информатики ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, тел.: 8(8772) 571133.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕНАЖНЫХ СЛОЕВ
ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ
ОБСТАНОВКИ В ЭКСТРАКТОРАХ С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ**
(рецензирована)

В работе проводили исследование гидродинамической стабильности и эффективности процесса CO₂-экстракции при использовании дренажных зон в экстракторе с неподвижным слоем.

Ключевые слова: экстрактор, гидродинамическая неустойчивость, дренаж, CO₂-экстракция.

Koshevoy Eugeni Panteleevich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Machines and Equipment for Food Production of FSBEI HPE «Kuban State Technological University», 350072, Krasnodar, 2 Moscow Str., tel.: (861) 2752279;

Kosachev Vyacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Machines and Equipment for Food Production of Kuban State Technological University, 350072, Krasnodar, 2 Moscow Str., tel.: (861) 2752279;

Rudich Eugeni Michailovich, Candidate of Technical Sciences;

Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the Department of Technology, Machinery and Food Processing Equipment, dean of the Technological Faculty of FSBEI HPE «Maikop State Technological University», 385000, Republic of Adyghea, Maikop, 191 Pervomayskaya Str., tel.: (8772) 570412;

Chundyshko Vyacheslav Yurievich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, assistant professor of the Department of Information Security and Applied Informatics of FSBEI HPE «Maikop State Technological University», 385000, Republic of Adyghea, Maikop, 191 Pervomayskaya Str., tel.: (8772) 571133.

**USING DRAINAGE LAYERS FOR IMPROVING HYDRODYNAMIC CONDITIONS IN
EXTRACTORS WITH FIXED BED**
(reviewed)

The hydrodynamic stability and efficiency of the process of CO₂ extraction when using drainage areas in the extractor with fixed bed has been investigated.

Keywords: extractor, hydrodynamic instability, drainage, CO₂–extraction.

Предложен процесс и конструкция экстрактора [1] в котором стабилизирован процесс течения жидкой фазы с переменной плотностью и вязкостью в слое экстрагируемого материала за счет размещения в слое промежуточных засыпок из инертного материала более крупных размеров – дренажных слоев. В результате в этих слоях процесс течения должен происходить интенсивнее и поступающий в слой неравномерный поток растворителя будет выравниваться за счет образования равномерного по высоте слоя растворителя в нижней части дренажного слоя перед последующим слоем экстрагируемого материала.

Для описания кинетики стока в процессе дренажа в слое дисперсного материала использовали уравнение [2]:

$$\frac{\partial S}{\partial t^*} = A_1 S^{2(1+\lambda)/\lambda} \frac{\partial S}{\partial x^*} + A_2 S^{(1+\lambda)/\lambda} \left(\frac{\partial S}{\partial x^*} \right)^2 + A_3 S^{(1+2\lambda)/\lambda} \frac{\partial^2 S}{\partial x^{*2}} \quad (1)$$

где $A_1 = \frac{2+3\lambda}{\lambda} P^*$; $A_2 = \frac{1+2\lambda}{\lambda^2}$; $A_3 = \frac{1}{\lambda}$.

Краевые условия:

$$\text{Начальные: } t^*=0 \quad S=1 \quad 0 \leq x^* \leq 1 \quad (2)$$

$$\text{Граничные } t^*>0 \quad x^*=1 \quad S=0 \quad (3)$$

$$x^*=0 \quad \partial S / \partial x^* = \text{const}, \quad (4)$$

где S – относительная насыщенность растворителем межчастичного пространства; $x^*=x/L$

– безразмерное расстояние от нижнего основания слоя; $t^* = \frac{kp_b}{\mu L^2 \varepsilon} t$ – безразмерное время

дренажа; μ – вязкость жидкой фазы, Па с; $p_b = \frac{4,6(1-\varepsilon)\sigma}{\varepsilon d}$ – давление прорыва слоя, Па; d –

средний размер частиц, м; σ – поверхностное натяжение, Н м⁻¹; $P^* = \frac{\rho g L}{p_b}$ – безразмерное давление дренажа жидкости; ρ – плотность жидкости, кг м⁻³; g – ускорение гравитации, м с⁻²; λ – мера распределения размеров пор слоя, по которым дренирует жидкость.

Дифференциальное уравнение (1) решено численно методом конечных разностей [3]. Результаты представлены в виде поверхностной диаграммы относительной насыщенности межчастичного пространства от времени стока и высоты слоя (рисунок 1).

Видно, что кривая стока по времени носит монотонно убывающий характер и соответственно скорость стока в начале процесса максимальная, а затем убывает по времени. Стекающий поток в дренажном слое опережает подаваемый поток к поверхности дренажа и образуется разрыв, в котором происходит перераспределение и выравнивание потока жидкой фазы. Если увеличить высоту дренажного слоя, то скорость стока снизится, и исходный поток может сократить зону дренажа и тем самым уменьшить её эффективность.

Для определения требуемой высоты дренажного слоя необходимо определить момент времени, когда скорость стока совпадет со скоростью подачи растворителя. Расчеты выполнены с частицами дренажного слоя разных размеров и определен рациональный размер частиц 5 мм.

На предложенной установке в экстракционном производстве предприятия ООО «Компания Караван» проведена проверка эффективности процесса экстракции с применением дренажных зон в экстракторе.

Условия испытаний следующие: Перерабатываемое сырье – перец черный (по ГОСТ 29050-91). Подготовка сырья – двукратное дробление на вальцевом станке. Размер частиц – толщина лепестка 0,2÷0,4 мм. Время экстрагирования – 5,5 часов. Температура –

$26 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и давление 67 ± 3 бар.

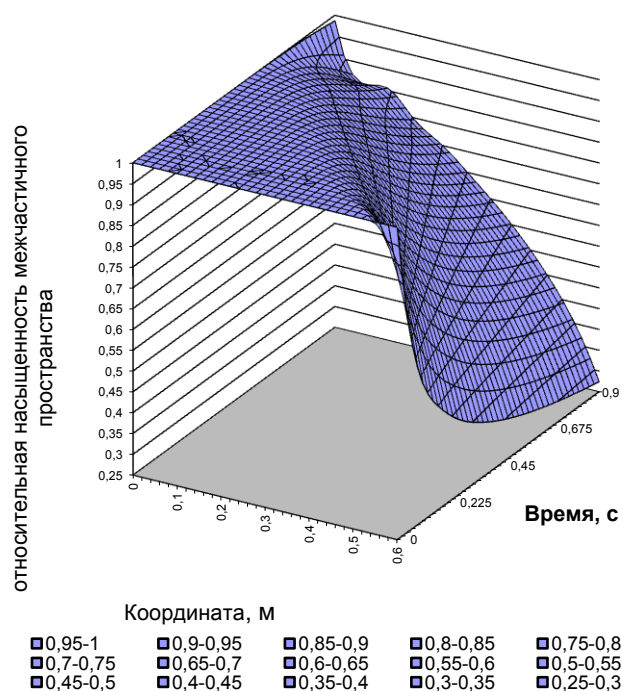


Рис. 1. Зависимость относительной насыщенности межчастичного пространства от времени стока и высоты слоя

Навеска сырья, загружаемого в экстрактор – 30 кг, что соответствовало толщине слоя в экстракторе – 65 ± 2 см.

Выхода полученные в ходе испытаний определялись в лаборатории предприятия ООО «Компания Караван»

Испытания проводились в экстракционном цехе предприятия ООО «Компания Караван» в период с 16.10.06 г. по 18.10.06 г. на установке «Полукаскад IV-1».

В таблице 1 представлены спланированные по схеме факторного эксперимента варианты и результаты ведения процесса с использованием дренажных слоев при CO_2 -экстракции.

Обработка спланированных экспериментов позволила получить регрессионную зависимость:

$$Y = 3,63 + 0,0696 \cdot N + 0,0107 \cdot h \cdot N \quad (5)$$

которая представлена на рисунке 2.

Отмечается положительное влияние на выход экстрактивных веществ основных факторов процесса – высоты и числа дренажных слоев.

Число дренажных слоев – основной фактор, высота дренажного слоя влияет во взаимодействии с числом дренажных слоев.

В целом рост выхода экстрактивных веществ при переработке перца черного за счет применения дренажных слоев составляет 10÷15%.

Результаты по качеству полученных экстрактов и экономической эффективности представлены в таблице 2.

Таблица 1 - Варианты и результаты ведения процесса с использованием дренажных слоев при CO₂-экстракции

Варианты	Схема размещения дренажных зон	Выход экстракции, %
I	Сырье – 65±2 см	3,63
II	Сырье – 32,5±1 см Дренаж – 12 см Сырье – 32,5±1 см	3,83
III	Сырье – 32,5±1 см Дренаж – 6 см Сырье – 32,5±1 см	3,75
IV	Сырье – 22 см Дренаж – 12 см Сырье – 22 см Дренаж – 12 см Сырье – 22 см	4,02
V	Сырье – 22 см Дренаж – 6 см Сырье – 22 см Дренаж – 6 см Сырье – 22 см	3,90

Таблица 2 - Изменения некоторых качественных показателей CO₂-экстракта перца черного при использовании дренажных слоев

Варианты	Качественные показатели CO ₂ -экстракта перца черного			Изменение цены CO ₂ -экстракта, в рублях (+) – увеличение (-) – уменьшение
	Кислотное число, мг КОН	Содержание эфирных масел, %	Содержание пиперина, %	
I	8,70	51,0	28,02%	0
II	8,25	48,0	28,10%	-247
III	8,47	49,0	28,06%	-148
IV	7,80	46,0	28,20%	-481
V	8,06	47,0	28,14%	-333

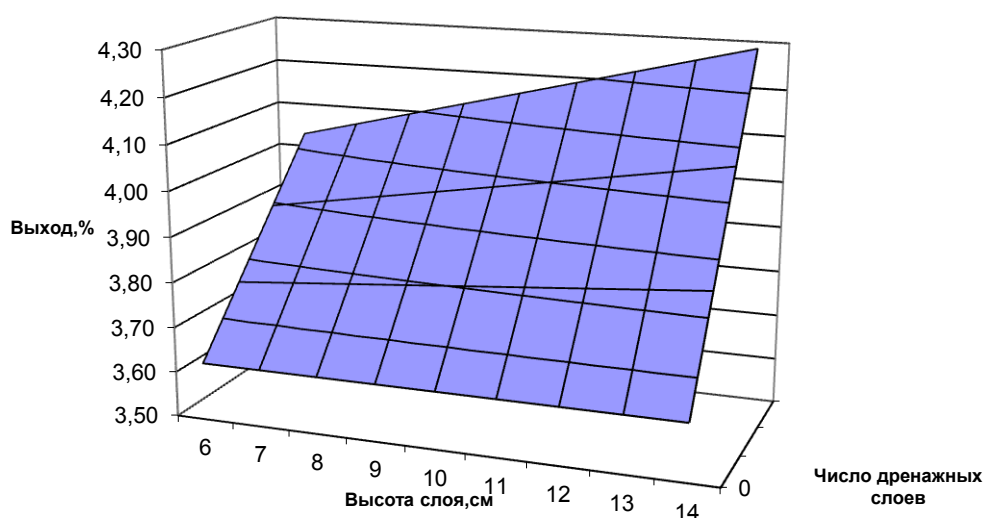


Рис. 2. Зависимость выхода при CO₂-экстракции перца черного от высоты и числа дренажных слоев

ВЫВОД

Применение дренажных зон в экстракторе с неподвижным слоем повышает гидродинамическую *стабильность и эффективность процесса CO₂-экстракции*.

Литература:

1. Экстрактор: решение о выдаче патента РФ на полезную модель №60873 / Е.П. Кошевой, Н.Н. Латин, В.Ю.Чундышко, В.С. Косачев, Е.М. Рудич. Бюл. №4.
2. Wakeman R.J., Vince A. Kinetics of gravity drainage from porous media // Chem. Eng. Res. And Des. 1986. Vol. 64, №2. P. 94-103.
3. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1974.

References:

1. Extractor: patent of the RF for the utility model № 60873 / E.P. Koshevoy, N. N. Latin, V.Yu.Chundyshko, V.S. Kosachev, E.M. Rudich. Bull. №4.
2. Wakeman R.J., Vince A. Kinetics of gravity drainage from porous media // Chem. Eng. Res. And Des., 1986. Vol. 64, №2. P. 94-103.
3. Samarsky A.A. Introduction to the theory of difference schemes. M.: Nauka, 1974.