

Применение рассматриваемых решений позволит существенно оздоровить экологическую обстановку в водных бассейнах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Керн Д., Краус А. Развитие поверхности теплообмена: Пер. с англ.— М.: Энергия, 1977.— 464 с. [2]. Кунтыш В. Б. Примеры теплоаэродинамических расчетов аппаратов воздушного охлаждения для жидких технологических продуктов.— Архангельск: АЛТИ, 1989.— 32 с. [3]. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения.— М.: ВНИИнефтемаш, 1971.— 102 с. [4]. Пудиков Г. Н. Пособие выпарщику сульфатных щелоков.— М.: Леспр. пром-сть, 1966.— 199 с. [5]. Стандартизованные аппараты воздушного охлаждения общего назначения: Каталог.— М.: ЦИТИХимнефтемаш, 1973.— 24 с. [6]. Шмеркович В. М. Применение аппаратов воздушного охлаждения при проектировании нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий.— М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971.— 111 с. [7]. Шмеркович В. М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения // Обзор. информ. Сер. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение, ХМ-1.— М.: ЦИТИХимнефтемаш, 1979.— 70 с. [8]. Эффективный калорифер для лесосушильных камер / В. И. Мелехов, В. Б. Кунтыш, В. С. Лаврентьев и др. // Информ. листок о науч.-техн. достижениях / Архангельский ЦНТИ.— 1987.— № 87-14.— 4 с.

Поступила 28 сентября 1989 г.

УДК 66.047.37 : 636.087.73

КОНВЕКТИВНАЯ СУШКА КОРМОВЫХ ДОБАВОК

Б. Д. ЛЕВИН

Сибирский технологический институт

Хлорофилло-каротиновая паста (ХКП) представляет собой влажный клеобразный материал. Для упрощения транспортировки, хранения и дозирования кормовой добавки в рацион животных изучали сушку биологически активной добавки, включающей 30 % ХКП и 70 % соевого шрота.

Смесь с относительной влажностью 22...23 %, в виде таблеток (диаметром 5...6 мм и толщиной 5...8 мм) просушивали путем обдува подогретым воздухом во вращающемся барабане диаметром 0,2 м и длиной 1 м*. В ходе эксперимента на базе математического планирования [4] по плану ПФЭ 2³ определяли влияние начальной скорости сушильного агента v в интервале 1...2 м/с, частоты вращения барабана n (1...2 мин⁻¹) и температуры воздуха на входе в барабан t_n (с учетом термочувствительности пигментов [3, 5]) численную величину t_n изменяли в пределах от 40 до 80 °С) на конечную влажность смеси ω_k , потери хлорофилла ΔX и потери каротина ΔK . Значения ΔX рассчитывали по формуле

$$\Delta X = \frac{C_n - C_k}{C_n} 100 \%,$$

где C_n — начальное содержание хлорофилла в смеси, мг/г;

C_k — конечное содержание хлорофилла в смеси, мг/г.

Аналогично рассчитывали величину ΔK .

Содержание пигментов в смеси определяли по апробированным методикам [2].

Расход влажного материала во всех опытах был постоянным и равным 8 кг/ч.

Условия проведения опытов и полученные результаты представлены в табл. 1.

При обработке данных зависимость конечной влажности смеси от режимных параметров получена в виде

$$\hat{\omega}_k = 15,95 - 1,35n - 1,39t_n, \quad (1)$$

где независимые переменные даны в кодированных значениях.

* В работе принимал участие А. А. Морозов.

Таблица 1

Матрица планирования экспериментов по конвективной сушке кормовой добавки и результаты ее реализации

№ п/п	Скорость газа v		Частота вращения барабана ω		Начальная температура газа t_n		Конечная влажность смеси ω_k , %				Потери каротина ΔK , %				Потери хлорофилла ΔX , %			
	Код	м/с	Код	мин ⁻¹	Код	°С	ω'_k	ω''_k	ω'''_k	ω''''_k	$\Delta K'$	$\Delta K''$	$\Delta K'''$	$\Delta K''''$	$\Delta X'$	$\Delta X''$	$\Delta X'''$	$\Delta X''''$
1	1	2	1	2	1	80	13,40	13,38	13,39	13,21	41,4	21,8	31,6	34,6	20,9	5,9	13,4	17,8
2	—1	1	1	2	1	80	11,04	13,82	12,43	13,21	30,7	9,3	20,0	24,3	18,6	7,0	12,6	13,0
3	1	2	—1	1	1	80	16,80	16,68	16,74	15,91	40,7	39,1	39,9	34,6	19,8	23,5	21,7	17,8
4	—1	1	—1	1	1	80	14,99	16,38	15,69	15,91	23,2	28,9	26,1	24,3	15,0	18,7	16,9	13,0
5	1	2	1	2	—1	40	16,07	16,67	16,37	16,41	40,2	21,4	30,8	24,9	21,9	20,3	21,1	17,8
6	—1	1	1	2	—1	40	15,58	16,79	16,19	16,41	17,7	19,1	18,4	14,6	8,0	11,8	9,9	13,0
7	1	2	—1	1	—1	40	19,26	18,33	18,80	18,69	11,4	21,6	16,5	24,9	9,6	20,3	15,0	17,8
8	—1	1	—1	1	—1	40	18,19	17,76	17,98	18,69	16,1	10,2	13,2	14,6	11,2	14,4	12,8	13,0

Таблица 2

Динамика температуры сушильного агента, влажности и потерь пигментов в ходе сушки биологически активной кормовой добавки

Номер опыта	$t, ^\circ\text{C}$				$\omega, \%$				$\Delta K, \%$				$\Delta X, \%$							
	при l/d , равном																			
	0				1,25				2,50				3,75				5,00			
1	83,4	22,2	—	—	65,6	17,5	17,69	0,0	65,3	17,1	20,0	7,2	61,5	14,3	25,9	8,9	60,4	13,4	31,6	13,3
3	79,0	22,2	—	—	57,9	17,22	28,83	0,9	58,0	17,6	38,9	2,6	56,0	16,1	41,0	3,9	53,4	16,8	39,8	21,7
4	81,1	22,9	—	—	63,4	19,45	52,25	0,1	63,2	18,2	17,3	0,0	59,1	16,4	20,1	0,0	57,1	15,7	26,0	17,00
5	42,5	22,5	—	—	34,1	18,17	11,78	4,5	32,5	17,7	16,7	11,8	32,3	16,1	23,7	13,7	31,0	16,4	30,8	21,1
6	42,3	22,5	—	—	31,0	19,47	12,39	0,0	28,6	18,8	12,8	0,0	28,4	16,8	16,0	1,7	28,2	16,2	18,4	9,8
7	40,5	23,2	—	—	33,0	20,17	0,95	4,3	32,3	20,1	10,4	9,4	30,9	19,5	12,5	11,5	29,5	18,9	16,5	14,9
8	43,1	22,1	—	—	35,3	19,65	6,53	0,0	35,2	18,8	9,0	0,0	33,4	17,7	11,6	5,5	29,5	18,0	13,1	12,9

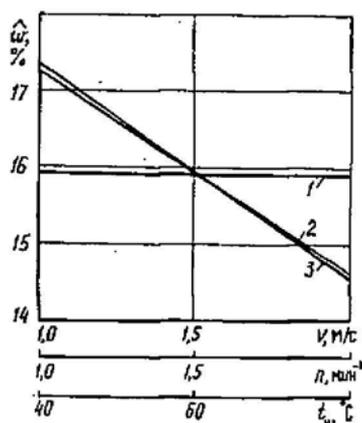


Рис. 1. Зависимость конечной влажности кормовой добавки \hat{w} от режимных параметров конвективной сушки: 1 — от скорости сушильного агента v ; 2 — от частоты вращения барабана n ; 3 — от начальной температуры сушильного агента t_n

Графические зависимости, построенные по уравнению (1) при стабилизации двух факторов на основном уровне, приведены на рис. 1.

Конечная влажность смеси оказалась независимой от скорости воздуха в барабане. При выборе скорости v в качестве переменного фактора предполагалось, что ее влияние будет существенным, так как с одной стороны, при росте v улучшаются условия обдува частиц и увеличивается запас подводимого тепла, а с другой — повышается унос частиц и сокращается средняя продолжительность нахождения их в зоне сушки.

Расчет показал, что значения числа Re в опытах лежат в пределах от 10 500 до 23 800, т. е. в барабане создается устойчивый турбулентный режим. В действительности же коэффициент регрессии b_1 , полученный в расчетах, удовлетворял условию:

$$|b_1| < \sqrt{S^2\{b_1\}} t_{\alpha}(f_1).$$

Здесь b_1 — коэффициент регрессии;

$S^2\{b_1\}$ — дисперсия коэффициента регрессии;

$t_{0,05}(8)$ — значение критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_1 = 8$ [1].

На основании изложенного b_1 был приравнен к нулю, а влияние скорости газа признано пренебрежимо малым.

Представляется, что конечная влажность гранул оказалась независимой от скорости сушильного агента из-за малой удельной поверхности и низкой влажности частиц. Характерно, что в ходе сушки не наблюдалось ни уноса, ни истирания гранул, так как присутствие ХКП, играющей роль связующего, придавало им достаточную прочность. В результате крупные и тяжелые частицы смеси, имеющие малую поверхность контакта с сушильным агентом, перемещались вдоль барабана преимущественно перекатыванием по его внутренней поверхности, т. е. в области пристенного пограничного слоя, где скорость газа ничтожно мала. Попытки увеличить скорость газа также не дают результата из-за сокращения и без того недостаточной продолжительности нахождения материала в аппарате.

Частота вращения барабана оказывает заметное воздействие на \hat{w}_k . При росте n продолжительность пребывания частиц внутри барабана сокращается, но одновременно улучшается их перемешивание и

обдув. Из рис. 1 видно, что при $v = 1,5$ м/с и $t_{н} = 60$ °С изменение n от 1 до 2 мин⁻¹ сопровождается падением конечной влажности с 17,3 до 14,6 % (линия 2). Наконец, изменение температуры сушильного агента от 40 до 80 °С при $v = 1,5$ м/с и $n = 1,5$ мин⁻¹ позволило снизить \hat{w}_x от 17,34 до 14,56 %.

Сушка с использованием подогретого, содержащего кислород сушильного агента сказалась и на качественных показателях продукта.

Согласно уравнению (2),

$$\hat{\Delta K} = 24,60 + 5,14v + 4,84t_{н}. \quad (2)$$

Содержание каротина в кормовой добавке при обдуве горячим воздухом очень сильно снижается с ростом скорости и температуры воздуха.

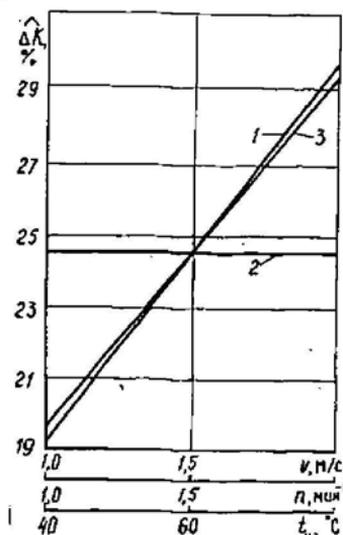


Рис. 2. Зависимость потерь

каротина $\hat{\Delta K}$ от режимных параметров конвективной сушки: 1 — от скорости сушильного агента v ; 2 — от частоты вращения барабана n ; 3 — от начальной температуры сушильного агента $t_{н}$.

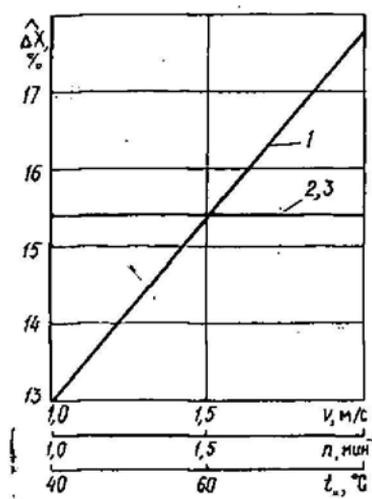


Рис. 3. Зависимость потерь

хлорофилла $\hat{\Delta X}$ от режимных параметров конвективной сушки: 1 — от скорости сушильного агента v ; 2 — от частоты вращения барабана n ; 3 — от начальной температуры сушильного агента $t_{н}$.

Графики на рис. 2 показывают, что рост начальной температуры и скорости сушильного агента заметно усиливают окисление каротина.

При повышении v от 1 до 2 м/с, так же как и $t_{н}$ от 40 до 80 °С, $\hat{\Delta K}$ возрастает приблизительно в 1,5 раза и становится весьма ощутимой, приближаясь к 30 %.

Частота вращения барабана не влияет на потери каротина (согласно уравнению (2)), что, на первый взгляд, кажется ошибочным, так как и время нахождения гранул в зоне сушки, и интенсивность их контакта с воздушным потоком зависят именно от n . Анализ кривых динамики потерь каротина, приводимый ниже, позволяет объяснить этот факт.

Параллельно с каротином окисляется хлорофилл; потери которого связаны с режимными параметрами сушки уравнением:

$$\hat{\Delta X} = 15,40 + 2,38v. \quad (3)$$

Следовательно, потери хлорофилла не зависят от частоты вращения барабана и начальной температуры сушильного агента, а определяются лишь его скоростью, причем с увеличением последней от 1 до 2 м/с ΔX возрастает с 13 до 17,8 % (см. рис. 3).

Для получения более четкой картины протекающих явлений в ходе опытов изучали динамику ряда факторов по длине барабана при движении материала в сушилке. Результаты эксперимента сведены в табл. 2, а для опыта № 2 представлены в виде графиков на рис. 4. В обоих случаях движение параметров дается как функция отношения $\frac{l}{d}$, где l — расстояние от входа в барабан до точки отбора пробы, а d — внутренний диаметр барабана.

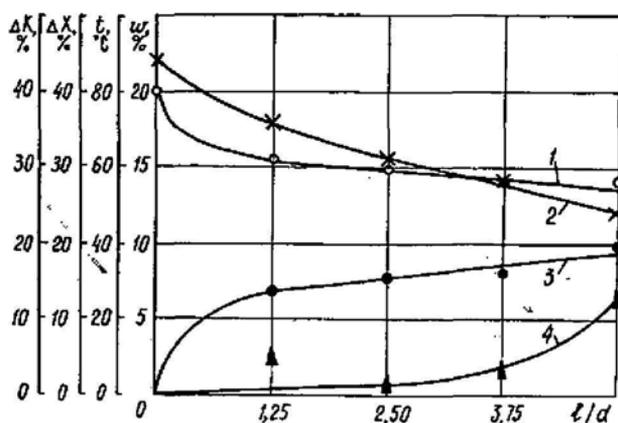


Рис. 4. Динамика температуры сушильного агента t (1), влажности w (2) и потерь пигментов ΔK и ΔX (3 и 4) в ходе конвективной сушки кормовой добавки по длине барабана при скорости сушильного агента 1 м/с, частоте оборотов барабана 2 мин^{-1} и начальной температуре сушильного агента 80°C .

Характер кривых на рис. 4 — общий для всех проведенных опытов. При их анализе выявлен ряд особенностей протекания процессов, имевших место при всех исследованных режимах. Так, температура сушильного агента, снижаясь в первой четверти барабана, затем практически не меняется (рис. 4, кривая 1). Аналогично изменяется тепловой поток от газа к материалу и, как следствие, влажность последнего (кривая 2).

Содержание биологически активных веществ смеси меняется по разному. Каротин (кривая 3) начинает окисляться немедленно при вступлении в контакт с воздухом, когда температура влажного материала близка к начальной. Этот факт согласуется с имеющимися в литературе сведениями [3], полученными при сушке древесной зелени с использованием теплоносителя, содержащего более 18 % кислорода.

На участке $\frac{l}{d} = 0 - 2,5$, т. е. в первой половине барабана (кривая 3) величина ΔK в 3 раза превышает суммарные потери каротина во второй его половине. Поэтому отмеченное выше (рис. 2, линия 2) постоянство потерь каротина при изменении n объясняется тем, что частотой оборотов барабана определяется продолжительность нахождения гранул в зоне сушки, которая на числовое значение ΔK практически не влияет, так как основная зона окисления находится в начале барабана.

Хлорофилл, напротив, заметно вступает в реакцию лишь после некоторого прогрева, причем особенно резко ΔX растет при $\frac{l}{d} = 3,75-5,00$. Потери хлорофилла несколько возрастают (табл. 2) при повышении начальной температуры сушильного агента, что совпадает с результатами, полученными при сушке хвои [5].

Однако вследствие того, что температура в барабане, из соображений сохранения качества высушиваемого материала, поддерживалась довольно низкой и изменялась в узком диапазоне значений, ΔX оказалась зависимой лишь от скорости воздуха (см. рис. 3).

В целом полученные в работе результаты позволяют сделать вывод, что при конвективной сушке атмосферным воздухом кормовых добавок, содержащих биологически активные вещества, получение сухого продукта сопровождается значительными потерями пигментов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бернштейн А. Справочник статистических решений.—М.: Статистика, 1968.—162 с. [2]. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандомина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. Учеб. пособие для студентов вузов.—М.: Высш. школа, 1975.—322 с. [3]. Лес — сельскому хозяйству // А. Я. Калинин, А. Р. Вальдман, П. П. Андерсон и др.—М.: Лесн. пром-сть, 1978.—192 с. [4]. Пен Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства.—Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1982.—192 с. [5]. Ягодина В. И., Худашова Г. С. О сохранности зеленых пигментов в процессе сушки хвои.—Рига, 1973.—С. 14—19.—(Использование биологически активных веществ дерева).

Поступила 15 декабря 1988 г.

УДК 676.164.082.5

УСКОРЕНИЕ ОСВЕТЛЕНИЯ ЩЕЛОКОВ СУЛЬФАТ-ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПОМОЩЬЮ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Н. Г. ЦМЫГ, М. П. МУЗЫЧЕНКО

Белорусский технологический институт

Осветление щелоков — наиболее медленная стадия процесса регенерации химикатов в сульфат-целлюлозном производстве. Эта технологическая операция, основанная на гравитационном осаждении частиц шлама, реализуется в отстойниках-осветлителях. Возможности увеличения их производительности путем совершенствования конструкций практически исчерпаны.

Один из путей дальнейшей интенсификации процесса — использование флокулянтов. В настоящее время для этих целей широко применяют полиакриламид (ПАА) [3]. Установлено, что совместное использование флокулянтов различной функциональности, например катионно-анионоактивного, позволяет еще более ускорить процесс осветления белых щелоков [4].

В процессе регенерации щелоков часть шлама зеленого щелока (черный шлам) неизбежно попадет в каустизационную смесь, что сказывается на скорости перелома карбоната в едкий натр, степени осветления белого щелока и в конечном итоге — на его качестве [2].

Цель настоящей работы — определить состав и выбрать режим применения двойного интерполимерного комплекса для ускорения осветления белого щелока в присутствии черного шлама.