

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ НА АКТИВНОСТЬ УРЕАЗЫ В СОЕВОЙ РУШАНКЕ

Резюме. Изучено влияние параметров процесса микронизации на активность уреазы и изменение влажности соевой рушанки при подготовке ее к экструдированию. Установлены оптимальные параметры процесса микронизации, показано, что наибольшее влияние на эти показатели оказывает продолжительность второго этапа облучения.

Ключевые слова: микронизация, уреазы, рушанка, соевые семена.

AN EFFECT OF MICRONIZATION PARAMETERS ON UREASE ACTIVITY IN DEHULLED SOYBEANS

Abstract. The influence of the parameters of the micronization process on the activity of urease and the change in the moisture content of soybean flour during its preparation for extrusion was studied. The optimal parameters of the micronization process have been established, and it has been shown that the duration of the second stage of irradiation has the greatest influence on these parameters.

Key words: micronization, urease, soybeans without film, soybean seeds.

ВВЕДЕНИЕ

Соевый жмых является важным компонентом рационов сельскохозяйственных животных. На некоторых маслозаводах малой мощности его обычно получают из мятки семян сои по схеме двухкратного прессования на отечественных модернизированных прессах маслопрессового агрегата МПЖ-68 [1]. Влаготепловая обработка ведется в чанных жаровнях Ж-68, обогреваемых водяным паром, где обеспечиваются подготовка масличного материала к отжиму и снижение активности уреазы до требуемых значений. Масличность жмыха при этом около 9%. Более эффективная переработка семян сои достигается с применением экструдера перед однократным отжимом на шнековом прессе, что позволяет использовать ее без измельчения и исключить влаготепловую обработку в чанных жаровнях. В этом случае масличность жмыха составляет около 8%, а активность уреазы (изменение рН за 30 мин) — 0,1–0,2 ед. Известен способ переработки обрушенных семян соевых бобов (рушанка) на двухшнековом пресс-экструдере [2]. Для получения полножирного соевого материала применяют одношнековые экструдеры отечественного производителя [3] без предварительной термopодготовки. Эти линии характеризуются высокими энергозатратами, длительностью процесса и сложностью его управления.

Одним из перспективных способов повышения качества получаемого продукта при подготовке зерна и семян масличных культур к дальнейшей переработке является инфракрасный (ИК) нагрев в устройствах высокотемпературной микронизации [4–7].

Цель работы — изучение влияния параметров процесса при циклической микронизации на активность уреазы в рушанке соевых семян при подготовке ее к экструдированию.

УДК 664.38:547.96

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2025-01-2-232

**ВАЛЕНТИН ВИТАЛЬЕВИЧ
ДЕРЕВЕНКО¹,**

доктор технических наук, профессор

ORCID: 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

**ВАЛЕРИЯ АНТОНОВНА
ДВОРНИКОВА¹,**

студент

E-mail: dvornikova_valeriya04@mail.ru

¹ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ)

350072, Россия, Краснодарский край,
г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

Поступила в редакцию:
06.11.2024

Одобрена после рецензирования:
25.12.2024

Принята в публикацию:
27.12.2024

UDC 664.38:547.96

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2025-01-2-232

**VALENTIN VITALIEVICH
DEREVENKO¹,**

Doctor of Technical Sciences, Professor

ORCID: : 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

**VALERIYA ANTONOVNA
DVORNIKOVA¹,**

Student

E-mail: dvornikova_valeriya04@mail.ru

¹Kuban State Technological University

350072, Russia, Krasnodar region,
Krasnodar, st. Moskovskaya, 2

Received by editor office:
11.06.2024

Approved in revised:
12.25.2024

Accepted for publication:
12.27.2024

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основании ранее проведенных исследований, посвященных изучению влияния инфракрасного излучения на изменение активности уреазы в обрабатываемых семенах сои и ее влажности, был разработан блок с ИК-лампами с подвижной рабочей площадкой, что позволяло устанавливать заданное расстояние между ними. Блок состоит из трех генера-

торов марки КГТ-220-1000, обеспечивающих равномерную поверхностную плотность потока облучения [8] сои на рабочей площадке. При этом изменение температуры продукта, расположенного в различных точках зоны облучения, не превышало 2–3°C.

Объект исследования — соевая рушанка, полученная в результате обрушивания семян сои сорта Вилина, выращенной в Краснодарском крае. Обрушивались семена в центробежной рушке марки МРЦ-5М в стендовых условиях.

Эксперимент проводили по плану Рехтшафнера [9]. Функциями отклика были: $Y_{кон}^y$ — активность уреазы при изменении рН за 30 мин и Y_6 — влажность соевой рушанки после ИК-обработки. Изучаемые параметры: δ — толщина слоя соевой рушанки, мм; h — расстояние между слоем рушанки и ИК-лампами, мм; q — плотность потока облучения, кВт/м²; τ_1 — время первого облучения, мин; τ_2 — время отлёжки, мин; τ_3 — время второго облучения, мин.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена в программе Microsoft Excel. Для оптимизации параметров использовался инструмент «Поиск решения» табличного процессора (2003).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После обработки данных — расчета коэффициентов экспериментально-статистических моделей и исключения незначимых членов — были получены следующие уравнения регрессии:

$$Y_{кон} = 0,315 + 0,222x_1 + 0,112x_2 - 0,139x_3 - 0,283x_6 - 0,073x_1x_2 + 0,177x_1x_6 + 0,092x_2x_6 - 0,074x_4x_5 + 0,399x_4^2 + 0,428x_5^2. \quad (1)$$

$$Y_6 = 6,49 + 0,542x_2 - 0,676x_3 - 0,578x_6 + 1,045x_1x_6, \quad (2)$$

$$\text{где } x_1 = \frac{\delta - 10}{5}; \quad x_2 = \frac{h - 100}{30}; \quad x_3 = \frac{q - 14,5}{5};$$

$$x_4 = \frac{\tau_1 - 1,5}{0,5}; \quad x_5 = \frac{\tau_2 - 1,5}{0,5}; \quad x_6 = \frac{\tau_3 - 1,5}{0,5}.$$

Ошибку эксперимента оценивали по трем параллельным опытам в центре плана. Уравнения (1) и (2) адекватно описывают эксперимент соответственно на 10% и 5% уровнях значимости по критерию Фишера. Ранее было установлено, что для получения соевого жмыха с допустимой активностью уреазы не более 0,2ΔрН при переработке сои методом термопластической экструзии в двухшнековом пресс-экструдере исходная активность уреазы в соевой рушанке должна быть не более 0,7ΔрН. Следовательно, функция отклика уравнения (2) должна соответствовать указанному выше значению.

Для оценки влияния роли факторов провели их сравнительное ранжирование [2] по однофакторным зависимостям $y = f_i \{x_i\}$ при стабилизации остальных факторов x_i на уровне, соответствующем координатам зоны лучшего

выхода, то есть при минимальной активности уреазы в соевой рушанке.

Ранжирование в зоне получения минимальной активности уреазы дает ряд:

$$\Delta Y_{кон}(x_6) > \Delta Y_{кон}(x_1) > \Delta Y_{кон}(x_4) > \Delta Y_{кон}(x_3) > \Delta Y_{кон}(x_2) > \Delta Y_{кон}(x_5).$$

Ранжирование в зоне максимальной влажности соевой рушанки, как и в зоне минимальной влажности, дает ряд:

$$\Delta Y_6(x_6) > \Delta Y_6(x_3) > \Delta Y_6(x_2) > \Delta Y_6(x_1).$$

Уравнения регрессии (1) и (2) отражают основные особенности термообработки инфракрасным облучением рушанки соевых семян перед извлечением масла методом термопластической экструзии. Результаты ранжирования показывают, что в рассмотренных случаях определяющим фактором является продолжительность второго этапа ИК-облучения.

Полученные регрессионные зависимости (1) и (2) представляют собой статистические модели эффективности функционирования установки ИК-облучения по главным выходным показателям — изменению активности уреазы и влажности, которые можно использовать для поиска рациональных значений параметров процесса. Задача оптимизации основных параметров технологического режима с учетом ограничительных уровней содержания влаги и изменения активности уреазы в обрабатываемом материале после ИК-облучения формулировалась следующим образом. Целевой функцией являлось отклонение получаемой влажности соевой рушанки от требуемой по условиям ИК-обработки, удовлетворяющей следующему условию:

$$|W_k(\vec{x}) - W_{треб}| \rightarrow \min X = X_1, X_2, \dots, X_6, \quad (3)$$

где W_k — функция конечной влажности соевой рушанки в зависимости от изученных параметров процесса;

$W_{треб}$ — требуемая влажность соевой рушанки согласно технологическим ограничениям равна 10%;

X_1, X_2, \dots, X_6 — кодированные значения изученных параметров процесса.

Ограничения по активности уреазы в соевой рушанке при инфракрасной термообработке перед отжимом масла на двухшнековом пресс-экструдере имеют вид:

$$Y_{кон}^y(\vec{x}) = Y_{исх}^y - \Delta Y^y(\vec{x}) \leq 0,7, \quad (4)$$

где $Y_{исх}^y$ — активность уреазы исходной рушанки, ΔрН;

ΔY^y — снижение активности уреазы в результате термической обработки соевой рушанки ИК-облучением;

$$x_i^{min} \leq x_i \leq x_i^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, 6, \quad (5)$$

где x_i^{min}, x_i^{max} — граничные значения параметров ИК-облучения, соответствующие экспериментальным данным.

Уравнения (3), (4) и (5) представляют функциональное и параметрическое ограничения.

Задача оптимизации решалась для дискретных значений Y в диапазоне активности уреазы соевых семян, поступающих на переработку в производственных условиях, и была на уровне 1,5–2,3 ΔpH . При этом контролировались нарушения ограничений (4), что соответствовало невозможности получить при определенном уровне активности уреазы назначенное пороговое значение, равное 0,7. Такая ситуация обусловлена достаточно большим количеством параметрических ограничений, которые при решении выполняются жестко. Поскольку совместно с изменением активности уреазы происходит удаление влаги из рушанки, то контролировался допустимый уровень конечной влажности материала на соответствие технологическим требованиям. Таким образом, существовали решения, при которых для достигнутой степени инактивации уреазы (как правило, при жестких тепловых режимах) рушанка оказывалась пересушенной.

Результаты расчетов могут быть интерпретированы в виде графиков зависимости рациональных значений изученных параметров активности уреазы в исходной рушанке после ИК-облучения. Как показывают расчеты, продолжительность циклического облучения является фактором, обладающим наибольшей чувствительностью к изменению технологических показателей соевой рушанки. На рисунке 1 видно, что продолжительность второго этапа облучения резко зависит от начальной активности уреазы в соевой рушанке. Поэтому следует предусмотреть такие конструктивные решения, которые обеспечивали бы возможность оперативного регулирования продолжительности ИК-облучения на втором этапе.

Важный конструктивный фактор — расстояние h между слоем рушанки и ИК-лампами. Этот параметр определяет интенсивность теплового ИК-воздействия. При определенных сочетаниях влажности и значения начальной активности уреазы требуется минимальное значение h , при котором происходит наиболее активное тепловое ИК-воздействие (рис. 2).

Для соевой рушанки влажностью 9,5% ИК-облучение можно проводить при высоте слоя $h = 130$ мм. Такая высота обеспечивает снижение активности уреазы с 2,3 до 1,9 ΔpH (рис. 3, кривая 2). При более высокой влажности требуется и более жесткий режим ИК-термообработки, даже при низких уровнях активности уреазы. Поэтому при разработке оборудования с ИК-облучением необходимо предусмотреть конструктивные решения, обеспечивающие регулировку расстояния между слоем материала и ИК-лампами.

Толщина слоя рушанки, наряду со временем термообработки, является одним из параметров, влияющих на производительность оборудования и на равномерность ИК-облучения. При увеличении толщины слоя до 15 мм необходимо повысить плотность потока облучения до 19,5 кВт/м² для получения соевой рушанки с допустимым уровнем активности уреазы — не более 0,7 ед. (рис. 3).

ВЫВОДЫ

Установлено, что при жестких режимах ИК-термообработки происходит обезвоживание соевой рушанки, хотя и обеспечивается необходимый уровень инактивации уреазы. В связи с этим важным является сочетание показателей исходной влажности и активности уреазы, позволяющее достичь оптимальных технологических показателей материала перед отжимом масла на двухшнековом пресс-экструдере (рисунки 1–3).

Таким образом, в результате модельного исследования определена возможность получения соевой рушанки с заданным уровнем активности уреазы и значением влажности в зависимости от различных начальных показателей этих параметров при оптимальных значениях исследованных факторов. Толщина слоя

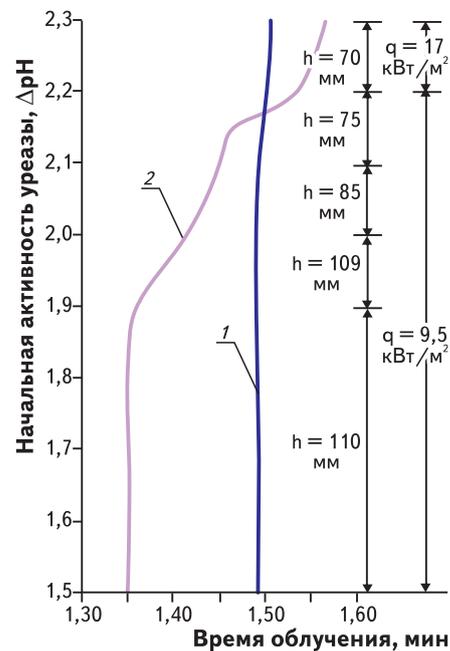


Рис. 1. Зависимость изменения начального уровня активности уреазы (ΔpH) соевой рушанки влажностью 11,5%, при высоте слоя 5 мм и выполнении условия $Y_{исх}^y \leq 0,7$, от времени ИК-облучения:
1 — время первого облучения;
2 — время второго облучения

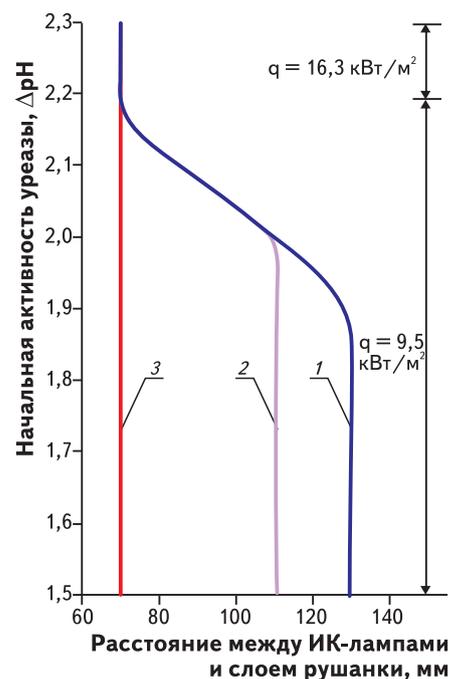


Рис. 2. Зависимость изменения начального уровня активности уреазы (ΔpH), при высоте слоя соевой рушанки 5 мм и выполнении условия $Y_{исх}^y \leq 0,7$, от расстояния между ИК-лампами и материалом с исходной влажностью соответственно:
1 — 9,5%; 2 — 11,5%; 3 — 13,5%

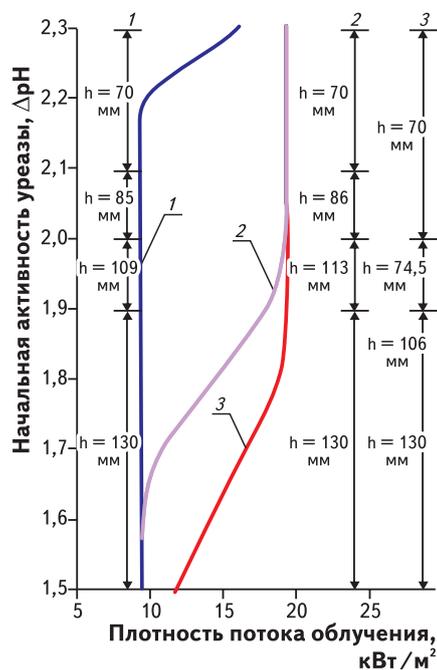


Рис. 3. Зависимость изменения начального уровня активности уреазы в соевой рушанке влажностью 9,5%, при выполнении условия $Y_{исх}^y \leq 0,7$, от величины потока облучения при высоте слоя:

1 — 5 мм; 2 — 10 мм; 3 — 15 мм

материала может ограничить получение кондиционной рушанки по активности уреазы и массовой доле влаги. Для применения данной модели целесообразно использовать специализированное программное обеспечение, которое может быть вмонтировано в программируемый логический контроллер оборудования для ИК-облучения семян масличных культур.

Литература

1. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров., т. 1, кн. 1 /Под ред. А.Г. Сергеева. — Л. : ВНИИЖ, 1975. — 728 с.
2. Деревенко В.В. Патент РФ №2165959 «Способ получения масла и жмыха из бобов сои». — 2001. — бюл. № 12.
3. www.Eks-bio.ru.
4. Зверев С.В., Соловьев А.М., Барсуков М.В., Попов А.П. Повышение качества фуражного зерна — высокотемпературная микронизация. М: ДеЛи принт. — 2001. — 35 с.
5. Зверев С.В., Конев Е.В. Обезвоживание крупы при интенсивном теплоподводе. Сборник научных трудов МПА. Выпуск V11/1, М. 2009 г. — С. 49–60.
6. Деревенко В.В., Мирзоев Г.Х., Тагаков А.В. Влияние ИК-обработки на изменение растворимости белковых фракций семян дыни / Известия вузов. Пищевая технология. — 2014. — №2–3. — С. 121–123.
7. Деревенко В.В., Аленкина И.Н., Тагаков А.В. Основные закономерности ИК-облучения тыквы сорта «Штирийская масляная» / Известия вузов. Пищевая технология. — 2014. — №1. — С. 121–123.
8. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М. : Агропромиздат. — 1985. — 336 с.
9. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 263 с. ■