ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

АНАЛИЗ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Адизов Рашид Тухтаевич
канд. техн. наук, проф.,
Бухарский государственный технический университет,
Узбекистан, г. Бухара

Рахмонов Кахрамон Санокулович
доц.
кафедры Хранение и переработки
сельскохозяйственной продукции,
Бухарский государственный технический университет,
Узбекистан, г. Бухара

ANALYSIS AND STABILIZATION OF FLOUR MILLING TECHNOLOGICAL PROCESSES AS A COMPLEX DYNAMIC SYSTEM

Adizov Rashid
Professor,
of Bukhara State Technical University,
Republic of Uzbekistan, Bukhara

Rakhmonov Kakhramon Sanakulovich
PhD, associate professor,
Department of Technology of storage and processing
of agricultural products
of Bukhara State Technical University,
Republic of Uzbekistan, Bukhara

АННОТАЦИЯ

Технологический процесс мукомольного производства рассматривается как сложная открытая динамическая система, включающая совокупность взаимосвязанных технологических операций и подсистем. Показано, что иерархическое построение технологии помола предопределяет необратимость ошибок, возникающих на начальных этапах процесса. Обоснована необходимость стабилизации режимов работы оборудования, прежде всего в драном процессе, как ключевого фактора обеспечения устойчивости выхода и качества готовой продукции. Приведены результаты промышленного эксперимента по стабилизации выхода макаронной крупки с использованием методов системного анализа и информационной энтропии.

ABSTRACT

The technological process of flour milling is considered as a complex open dynamic system comprising a set of interrelated operations and subsystems. It is shown that the hierarchical structure of milling technology determines the irreversibility of errors occurring at the initial stages. The necessity of stabilizing equipment operating modes, primarily in the break process, is substantiated as a key factor in ensuring the stability of yield and quality of finished products. The results of an industrial experiment on stabilizing the yield of pasta semolina from durum wheat using systems analysis methods and information entropy are presented.

Ключевые слова: мельница, процесс помола, зерно твёрдой пшеницы, выход крупки, клейковина, зольность зерна.

Keywords: flour mill, milling process, durum wheat, semolina yield, gluten, grain ash content, negentropy.

Библиографическое описание: Адизов Р.Т., Рахмонов К.С. АНАЛИЗ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 4(145). URL: *https://7universum.com/ru/tech/archive/item/22530*

Введение. Технологический процесс на мельнице представляет собой сложную открытую динамическую систему, состоящую из ряда взаимосвязанных подсистем и элементов – технологических операций, объединённых материальными, энергетическими и информационными потоками. Для таких систем характерно иерархическое построение, при котором параметры верхних уровней определяют функционирование последующих стадий процесса [1, с. 140–145; 2, с. 85–92].

Вследствие этого отклонения параметров на начальных этапах помола (прежде всего в драном процессе) не могут быть полностью компенсированы на последующих стадиях. Первостепенное значение приобретает стабилизация режимов работы оборудования, особенно на первом драном процессе, основной задачей которого является максимальное извлечение эндосперма в виде промежуточных продуктов [3, с. 192–201].

Рассматриваемое предприятие оснащено закромами для отволаживания зерна общей вместимостью 300 т. Фактическая загрузка закромов составляет около 50%, что создает резерв для реализации режимов холодного кондиционирования зерна различного качества с учетом его влажности и стекловидности. Из каждого закрома зерно поступает по девяти самотечным трубам, равномерно расположенным по днищу. Автоматические весы-дозировщики обеспечивают формирование равномерных потоков с прецизионным увлажнением. Склад бестарного хранения муки включает 32 силоса (1200 т), что соответствует 10-суточной производительности. Склад является самостоятельным объектом формирования сортового ассортимента, выполняя операции смешивания, весового дозирования и фасовки [1, с. 143].

На складе выполняются операции: бестарного хранения муки; объёмного дозирования и смешивания при формировании массовых сортов; весового дозирования и смешивания при производстве специальных сортов; приёма муки и крупки от сторонних производителей; выбоя муки в мешочную тару и бестарного отпуска; фасовки муки.

Совокупность указанных операций и высокая насыщенность склада оборудованием, управляемым с центрального пульта, превращают его в самостоятельный объект формирования сортового ассортимента муки [4, с. 110–118].

На мельнице вырабатывается хлебопекарная мука с выходом 77,0 %, в том числе 30,0 % муки высшего сорта с зольностью до 0,45 % и 47 % муки первого сорта с зольностью до 0,70 %. Подготовка зерна к помолу осуществляется с использованием кондиционера MRG-11-7/4, а дозирование зерна после кондиционирования – батареей автоматических весов «Хронос».

Исследования, проведённые фирмами Bühler, MIAG и др., показали, что ситовеечные машины целесообразно применять только при производстве манной крупы, крупчатки или муки с зольностью ниже 0,45 % [3, с. 198–201].

Современное оборудование обеспечивает базовую устойчивость параметров драного процесса, однако задача технолога заключается в достижении заданной стабильности выхода готовой продукции стандартного качества. В настоящем исследовании проведены мероприятия по стабилизации выхода макаронной крупки на промышленной мельнице макаронного помола твёрдой пшеницы Дурум.

Стабильность процесса рассчитывали по величине негэнтропии, как это принято в современном системном анализе операций, по формуле 1:

$$\eta = 1 - \frac{H_1}{H_0} \quad (1)$$

где H_1 и H_0 - значения негэнтропии информации процесса при существующих условиях ведения процесса и в случае равномерного распределения значений его параметров во всем наблюдаемом диапазоне рассеивания.

Негэнтропия информации определяется как сумма вероятностей определяющих параметров процесса, по формуле 2:

$$H = -p \log p-(1-p)\log(1-p) \quad (2)$$

где p - вероятность частного события.

Для расчёта использовались статистические данные, полученные в течение 10 суток переработки партии твёрдой пшеницы дурум с однородными показателями качества: натура – 783 г/л, зольность – 1,76 %, стекловидность – 83,0 %, влажность – 12,4 %, содержание клейковины – 27,2 %.

Для расчёта значений H_1 и H_0 необходимо иметь статистическую совокупность результатов функционирования системы в течение некоторого периода времени. Путём обработки этих данных находят частные вероятности событий, на основе которых и выполняют расчёт стабильности функционирования системы. Значения энтропии информации табулированы /3, 4 /, причём с точностью до 0,0001, что позволяет надёжно вести расчёт стабильности.

Обработка результатов начинается с построения вариационного ряда распределения величин, при этом рекомендуется принимать 12 разрядов ряда.

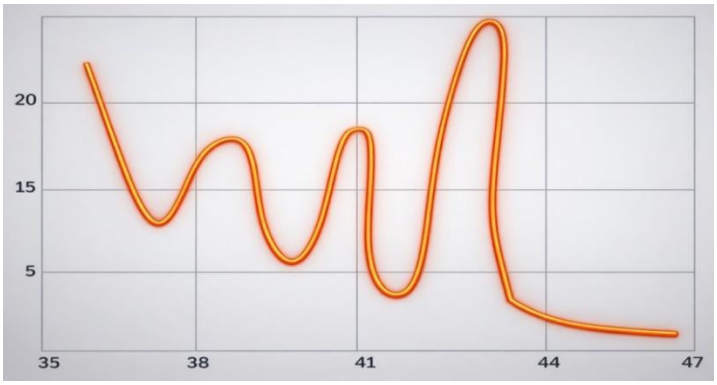

Рисунок 1. Начальный вид вариационный кривой

Вариационная кривая на предоставленном рисунке отражает начальное состояние системы до стабилизации. Её можно интерпретировать как график распределения частот выхода макаронной крупки (рис.1).

Ключевые характеристики диаграммы*:*

- *Тип распределения*: Полимодальное (многовершинное).
- *Зона нестабильности*: Колебания в диапазоне 36,0–43,0% с тремя локальными максимумами указывают на неустойчивость режимов измельчения на первых трех системах драного процесса.
- *Показатель негэнтропии*: Рассчитанная стабильность системы крайне низка и составляет 0,091.

В ходе эксперимента на пшенице Дурум (натура 783 г/л, стекловидность 83,0%, клейковина 27,2%) было проведено сравнение работы системы до и после стабилизации режимов (табл.).

Таблица 1.

Сравнительный анализ исходных данных и результатов после корректировки параметров процесса

Параметр	**До стабилизации (Рис. 1)**	**После стабилизации (Рис. 2)**
Форма кривой	Хаотичная, полимодальная	Близкая к нормальному закону (Гаусса)
Стабильность (по формуле 1)	***0,091***	***0,163*** (рост почти в 2 раза)
Выход крупки,%	39,51	41,78
Коэффициент эффективности, %	99,3	103,6

Описание процесса перехода:

1. *Выявление проблемы***:** На исходном рисунке налицо неустойчивость параметров, вызванная субъективными факторами или нестабильностью работы оборудования.

2. *Корректировка:* После выполнения мероприятий по стабилизации режимов основных систем драного процесса распределение приняло вид кривой нормального закона.

3. *Результат***:** Размах варьирования сузился до границ 6\sigma (средних квадратических отклонений), что позволило значительно повысить надежность функционирования мельницы.

После выполнения мероприятий по стабилизации режимов основных систем драного процесса полученное распределение стало близко соответствовать теоретически необходимой форме кривой нормального закона, как это показано графиком на рис. 2. При этом стабильность повысилась до 0,163, т.е. почти в два раза.

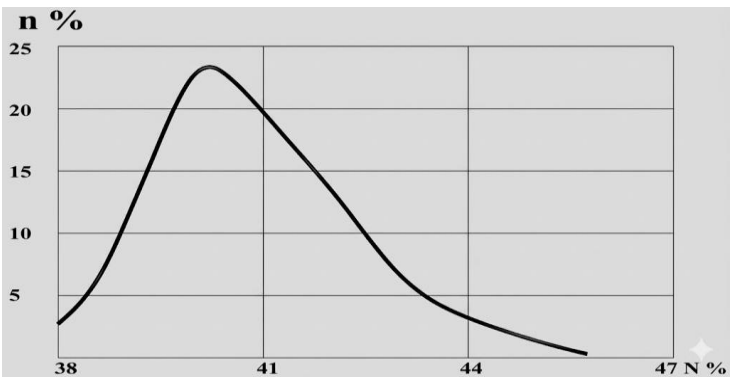

Рисунок 2. Вариационная кривая после стабилизации процесса

Заключение. Анализ вариационной кривой исходного состояния, то есть до стабилизации, (рис. 1) показал полимодальный характер распределения выхода крупки в диапазоне 36,0 – 43,0%, что свидетельствует о нестабильности режимов измельчения на первых системах драного процесса. Рассчитанная стабильность составила 0,091. После корректировки режимов распределение стало близким к нормальному (рис. 2), стабильность возросла до 0,163, выход крупки увеличился с 39,51 до 41,78 %, а коэффициент эффективности – с 99,3 до 103,6 %.

Таким образом, стабилизация функционирования сложной динамической системы мукомольного производства не только увеличивает количественный выход продукции (в данном случае на 2,27%), но и создает базу для дальнейшей автоматизации. Снижение энтропии процесса является необходимым условием для перехода к прецизионному управлению качеством помола.

Список литературы:

1. Егоров, Г.А. Управление технологическими свойствами зерна / Г.А. Егоров. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : ИКМ ГУПП, 2005. – 289 с. – Текст : непосредственный.
2. Панфилов, В.А. Технологические линии пищевых производств : (теория технологического потока) / В.А. Панфилов. – Москва : Колос, 1993. – 342 с. – Текст : непосредственный.
3. Бутковский, В.А. Технология мукомольного производства : учебник для вузов / В.А. Бутковский, А.И. Мерко, А.Ф. Мельников. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 305 с. – Текст : непосредственный.
4. Панфилов, В.А. Машиностроение и технология пищевых производств / В.А. Панфилов, О.А. Ураков. – Москва : Пищевая промышленность, 1996. – 373 с. – Текст : непосредственный.