

УДК 664.71

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ МУКОМОЛЬНОГО ВАЛЬЦОВОГО СТАНКА ПРИ ИЗБИРАТЕЛЬНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНА

Е.Л. Волынская, Ж.В. Кошак, А.В. Иванов

Рассматривается задача оптимизации рабочей зоны мукомольного вальцового станка. В качестве критериев оптимальности используются процент проявления быстроизменяющихся дефектов рабочей зоны или извлечение продуктов измельчения. На основе составленных математических моделей определено оптимальное состояние рабочей зоны при любом изменении процента проявления быстроизменяющихся дефектов.

Введение

Измельчение зерна является основным и исключительно энергоемким технологическим процессом на мукомольных предприятиях. По сравнению со способами измельчения, применяемыми в других отраслях промышленности, процесс измельчения зерна при сортовом помоле значительно более сложен, так как предполагает не только измельчение зерновки, но и наиболее полное разделение ее составных частей (эндосперма, оболочек, зародыша). Одним из важнейших средств повышения качества, надежности и экономической эффективности эксплуатации вальцовых станков является контроль изменения рабочей зоны для предупреждения развития технических дефектов, влияющих на количественно-качественные показатели процесса избирательного измельчения.

На стабильность рабочей зоны, а следовательно, на качество помола влияет ряд факторов, в различной мере взаимосвязанных между собой. Были выделены следующие факторы нестабильности межвальцового зазора: неуравновешенность вальцов в сборе, зазоры в соединениях, искажение геометрической формы вальцов, нагрев вальцов, неравномерная подача продукта в зону измельчения, недостаточная жесткость деталей, ударные нагрузки в зубчатом зацеплении. Каждый из этих факторов в той или иной степени влияет на величину колебаний зазора между вальцами, характеризующими состояние рабочей зоны. Экспериментально доказано, что для стабилизации зазора между вращающимися вальцами необходимо устранение всех факторов нестабильности зазора, потому что неустранение хотя бы одного из них может вызвать максимальное колебание величины зазора и практически не улучшает качество работы вальцового станка в целом [1].

В связи с этим была разработана методика определения состояния рабочей зоны мукомольного вальцового станка, которая позволяет выявить дефекты, влияющие на состояние рабочей зоны, и оптимизировать их воздействие на количественно-качественные показатели процесса избирательного измельчения, и в соответствии с этим можно вести технологический процесс без остановки технологического оборудования (перераспределение подачи продукта между мукомольными вальцовыми станками) [2].

Была поставлена задача определения оптимального состояния рабочей зоны мукомольного вальцового станка для обеспечения наилучших количественно-качественных показателей процесса избирательного измельчения.

На лабораторном вальцовом станке были проведены серии экспериментов по определению состояния рабочей зоны мукомольного вальцового станка и количественно-качественных показателей процесса избирательного измельчения. Были получены зависимости количественно-качественных показателей от процента проявления дефекта.

Для оптимизации рабочей зоны мукомольного вальцового станка было осуществлено математическое моделирование.

Результаты исследований и их обсуждение

Задача оптимизации состояния рабочей зоны мукомольного вальцового станка решалась методами нелинейного программирования. В качестве проектных параметров примем процент проявления быстроизменяющихся дефектов в рабочей зоне D_i , где i – номер дефекта. Тогда целевую функцию можно представить в следующем виде:

$$ЦФ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (D_i)^2} \cdot \quad (1)$$

Введем ограничения неравенств по количественно-качественным показателям процесса избирательного измельчения. Ограничение по извлечению

$$И = \frac{\sum_{i=1}^n (C \cdot D_i + E)}{n} \leq И_p, \quad (2)$$

где C, E – экспериментальные безразмерные коэффициенты;
 $И_p$ – рекомендуемая величина извлечения, %.

Ограничение по извлечению не должно превышать рекомендуемого правилами ведения и организации технологического процесса. Исходя из опыта эксплуатации мукомольных вальцовых станков, была разработана технологическая схема ведения процесса избирательного измельчения, при котором были установлены значения извлечений для достижения наилучших качественных показателей. При увеличении извлечения выше рекомендуемого происходит переизмельчение продуктов размола, что ведет к увеличению зольности, а также к увеличению потребляемой энергии на измельчение.

Ограничение по зольности

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (L \cdot D_i + M)}{n} \leq Z_p, \quad (3)$$

где L, M – экспериментальные безразмерные коэффициенты;
 Z_p – рекомендуемая величина зольности, %.

Ограничение по зольности не должно превышать значений, рекомендуемых правилами ведения и организации технологического процесса. Для получения муки высшего сорта зольность муки не должна превышать 0,55 %.

Кроме этого используется ограничение по значению удельного тока, которое рассчитывается как отношение среднего значения тока I_c , затрачиваемого на измельчение к извлечению $И_p$, рекомендованному правилами ведения и организации технологического процесса на данной размалывающей системе.

$$I_{уд} = \frac{\sum_{i=1}^n (H \cdot D_i + G)}{n} \leq I_{уд_p}, \quad (4)$$

где H – экспериментальный коэффициент, $A/\%^2$;
 G – экспериментальный коэффициент, $A/\%$;
 $I_{уд_p}$ – ограничивающее значение удельного тока, $A/\%$.

Ограничивающее значение удельного тока определялось в процессе экспериментов и зависит от вида размалывающей системы, типа и мощности установленного электродвигателя. Вид размалывающей системы определяет величину извлечения.

Процент проявления дефектов определялся при обработке токовых сигналов, снятых с трансформатора тока электродвигателя привода. В уравнениях для расчета извлечения, зольности и значения удельного тока экспериментальные коэффициенты C, E, L, M, H, G выбирались в зависимости от вида размалывающей системы.

Математическая модель, определяющая область оптимальных параметров рабочей зоны мукомольного вальцового станка:

$$\left\{ \begin{array}{l} ЦФ = \sum_{i=1}^n \sqrt{(D_i)^2} \rightarrow \min \\ И = \frac{\sum_{i=1}^n (C \cdot D_i + E)}{n} \leq И_p \\ Z = \frac{\sum_{i=1}^n (L \cdot D_i + M)}{n} \leq Z_p \\ I_{уд} = \frac{\sum_{i=1}^n (H \cdot D_i + G)}{n} \leq I_{уд_p} \end{array} \right. \quad (5)$$

В результате решения математической модели определено оптимальное состояние рабочей зоны мукомольного вальцового станка при любом изменении процента проявления быстроизменяющихся дефектов.

Рассмотрим оптимизацию рабочей зоны мукомольного вальцового станка на 1-й размольной системе. В этой серии опытов вальцы были установлены с кинематическими параметрами зоны измельчения для 1-й размольной системы. Биение изменяли на медленно вращающемся вальце. В зависимости от процента проявления дефекта на медленно вращающемся вальце, максимально возможный процент проявления дефекта на быстро вращающемся вальце рассчитывается исходя из того, что максимальный процент проявления всех дефектов для достижения наилучших количественно-качественных показателей процесса избирательного измельчения равен 5 % [3]. По правилам ведения и организации технологического процесса извлечение муки на 1-ой размольной системе должно составлять 50–70%, а зольность муки не должна превышать 0,55 %. Были получены экспериментальные зависимости извлечения муки и зольности муки от общего процента проявления обоих дефектов. Графики этих зависимостей приведены на рисунках 1 и 2. Также было определено значение удельного тока при проявлении дефектов с учетом полученного извлечения. Было установлено, что для получения наилучших количественных показателей удельное значение тока не должно превышать 0,067 А/%. Полученная зависимость приведена на рисунке 3.

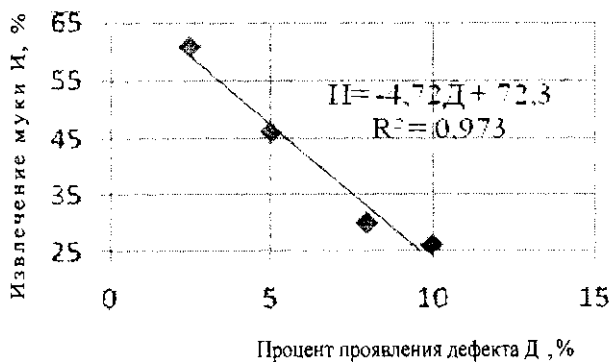


Рисунок 1 – Зависимость извлечения муки И от величины проявления дефектов Д на 1-й размольной системе

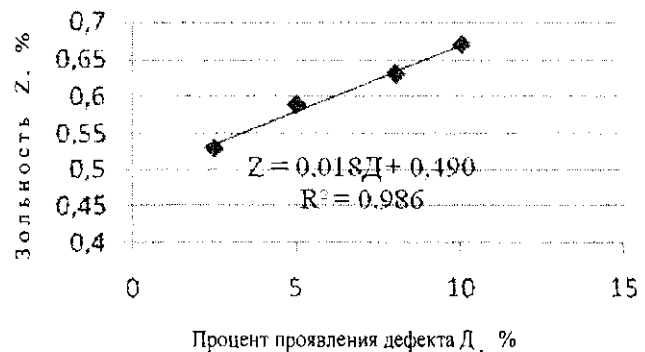


Рисунок 2 – Зависимость зольности муки Z от величины проявления дефектов Д на 1-й размольной системе

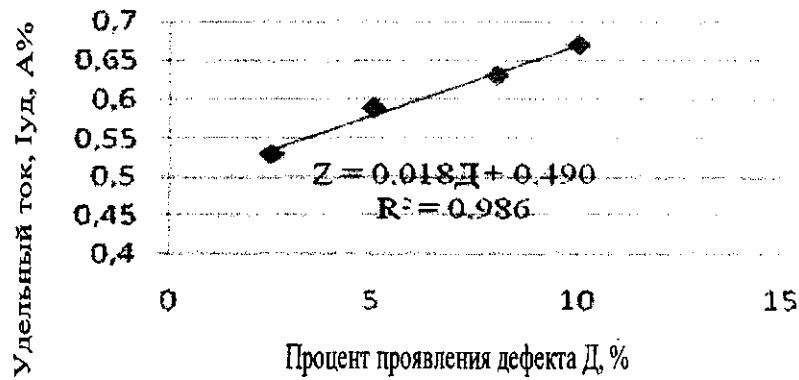


Рисунок 3 – Зависимость удельного тока $I_{уд}$ от величины проявления дефекта на 1-й размольной системе

При определении математических зависимостей количественно-качественных показателей процесса избирательного измельчения и удельного тока от величины проявления дефекта получили, что расчетные коэффициенты остаются постоянными как для одного дефекта, так и для совокупного их проявления.

В таблице 1 приведен расчет оптимизации рабочей зоны мукомольного вальцового станка на 1-й размольной системе по полученным зависимостям и ограничениям. Биение на медленновращающемся вальце устанавливалось таким, что процент проявления дефекта был равен 2,4%. Далее рассчитывался процент проявления биения быстро вращающегося вальца.

В результате проведенной оптимизации определили, что при проценте проявления биения на медленно вращающемся вальце 2,4%, а на быстро вращающемся вальце – 2,81 %, общий процент проявления дефектов равен 3,7%. При таком проценте проявления дефектов рабочей зоны мукомольного вальцового станка достигаются значения извлечения муки 60 % и зольность 0,54 %, что рекомендовано правилами ведения и организации технологического процесса, а также не превышено допустимое значение удельного тока 0,0554 А/%.

Таблица 1 – Оптимизация рабочей зоны мукомольного вальцового станка на 1-й размольной системе

Вид дефекта	Биение медленно вращающегося вальца		Биение быстро вращающегося вальца		
	Оптимальный процент проявления дефекта, %	2,40		2,81	
Максимальный процент проявления дефекта, %	2,4		4,39		
ограничения				Целевая функция	3,70
			фактические параметры		рекомендуемые
Извлечение муки, %	60,97	59,03	60	<=	60
Зольность муки, %	0,533	0,541	0,54	<=	0,55
Удельное значение тока, А/%	0,055	0,056	0,0554	<=	0,067

Далее для этой же системы была определена графически область значений быстроизменяющихся дефектов (рисунок 4), влияющих на состояния рабочей зоны мукомольного вальцового станка, при которых достигаются наилучшие значения количественно-качественных показателей процесса избирательного измельчения и удельного значения тока, затрачиваемого на измельчение. Анализируя полученные результаты, можно сказать, что наилучшие извлечение и зольность, а также удельные значения тока, затрачиваемого на измельчение, на данной 1-й размольной системе получаются при изменении быстроизменяющихся дефектов в пределах от 0,5 % до 5 %.

Также была проведена оптимизация рабочей зоны мукомольного вальцового станка, в которой в качестве целевой функции был выбран количественный показатель процесса избирательного измельчения, а именно извлечение И. В качестве ограничений был выбран качественный показатель – зольность Z, удельный ток, затрачиваемый на измельчение $I_{уд}$, процент

проявления быстроизменяющихся дефектов D_i .

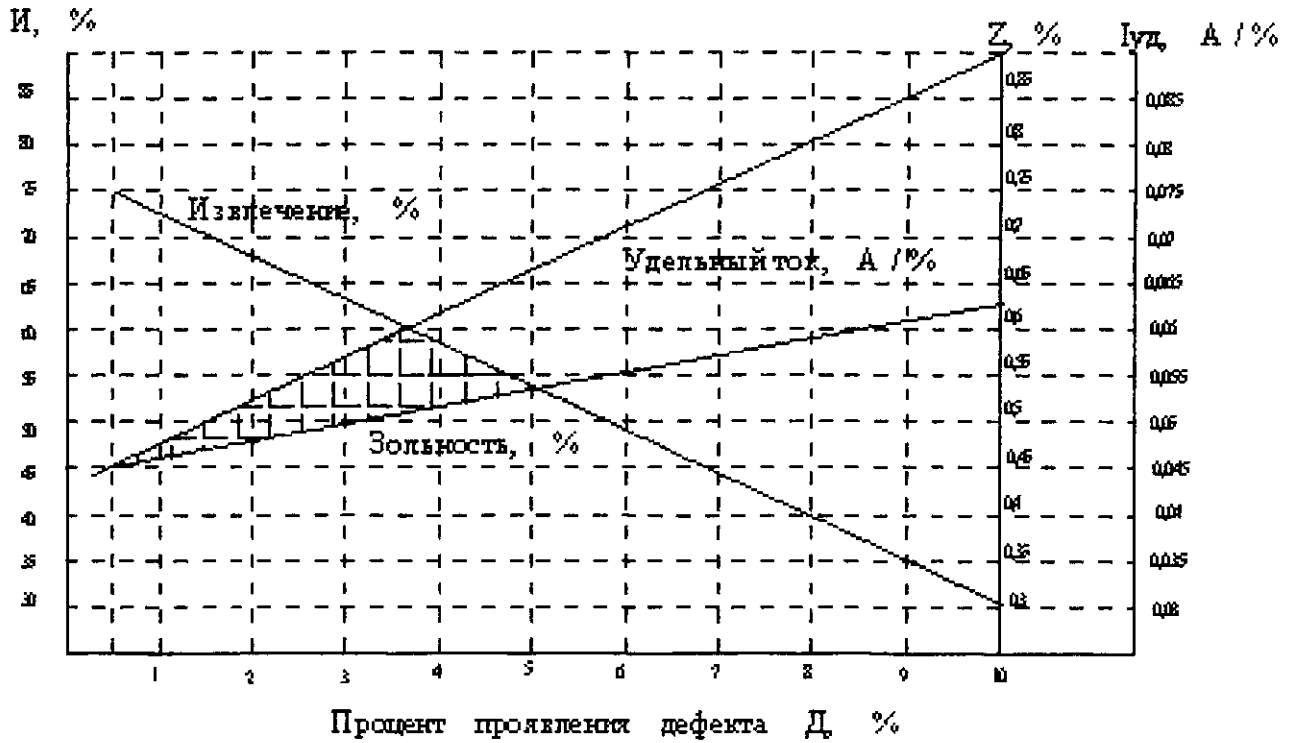


Рисунок 4 - Оптимизация рабочей зоны по процентам проявления быстроизменяющихся дефектов на 1-й размольной системе

Процент проявления дефектов определялся при обработке токовых сигналов, снятых с трансформатора тока электродвигателя привода. С учетом вышеизложенного получили математическую модель, определяющую область оптимальных параметров:

$$\left\{ \begin{array}{l} ЦФ = \frac{\sum_{i=1}^n (C \cdot D_i + E)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \rightarrow \max \\ I_{\min_p} \leq I_i \leq I_{\max_p} \\ Z = \frac{\sum_{i=1}^n (L \cdot D_i + M)}{n} \leq Z_p \\ I_{уд} = \frac{\sum_{i=1}^n (H \cdot D_i + G)}{n} \leq I_{уд_p} \\ 0 \leq D_i \leq 5 \end{array} \right. \quad (6)$$

где I_{\min_p} – минимальное рекомендуемое значение извлечения, %;

I_{\max_p} – максимальное рекомендуемое значение извлечения, %.

В качестве примера рассмотрим оптимизацию рабочей зоны мукомольного вальцового станка на 1-й размольной системе. При проведении оптимизации использовались зависимости зольности и удельного тока от величины проявления дефекта, представленные на рисунках 2, 3.

В таблице 2 приведен расчет оптимизации рабочей зоны мукомольного вальцового стан-

ка на 1-й размольной системе по полученным зависимостям и ограничениям. Биение на медленно вращающемся вальце устанавливалось таким, что процент проявления дефекта был равен 2,4%. Далее выбирался процент проявления биения быстро вращающегося вальца таким образом, чтобы общее проявление обоих дефектов не превышало 5 %, зольность муки – не превышала 0,55 %, удельный ток – 0,067 А/%. В результате проведенной оптимизации определили, что при проценте проявления биения на медленно вращающемся вальце 2,4%, а на быстро вращающемся вальце – 3%, общий процент проявления дефектов равен 3,84%. При таком проценте проявления дефектов рабочей зоны мукомольного вальцового станка достигается оптимальное извлечение муки 60 %, а зольность 0,54 % и значение удельного тока 0,056 А/% не превышают заданные в ограничениях.

Таблица 2 – Оптимизация рабочей зоны мукомольного вальцового станка на 1 размольной системе по извлечению муки

Вид дефекта	Биение медленно вращающегося вальца		Биение быстро вращающегося вальца		
	Оптимальное извлечение муки, %	60,00		60,00	
Максимальное извлечение, %	60		60		
Минимальное извлечение, %	50		50		
ограничения			фактические параметры	Целевая функция	60
					рекомендуемые
Процент проявления дефекта, %	2,40	3,00	3,84	<=	5
Зольность муки, %	0,533	0,544	0,54	<=	0,55
Удельное значение тока, А/%	0,055	0,057	0,056	<=	0,067

Далее для этой же системы была определена графически область оптимальных значений количественного показателя процесса избирательного измельчения – извлечения И, при ограничениях на зольность Z, удельные значения тока I_{уд}, затрачиваемого на измельчение, и максимально возможного процента проявления дефекта (рисунок 5).

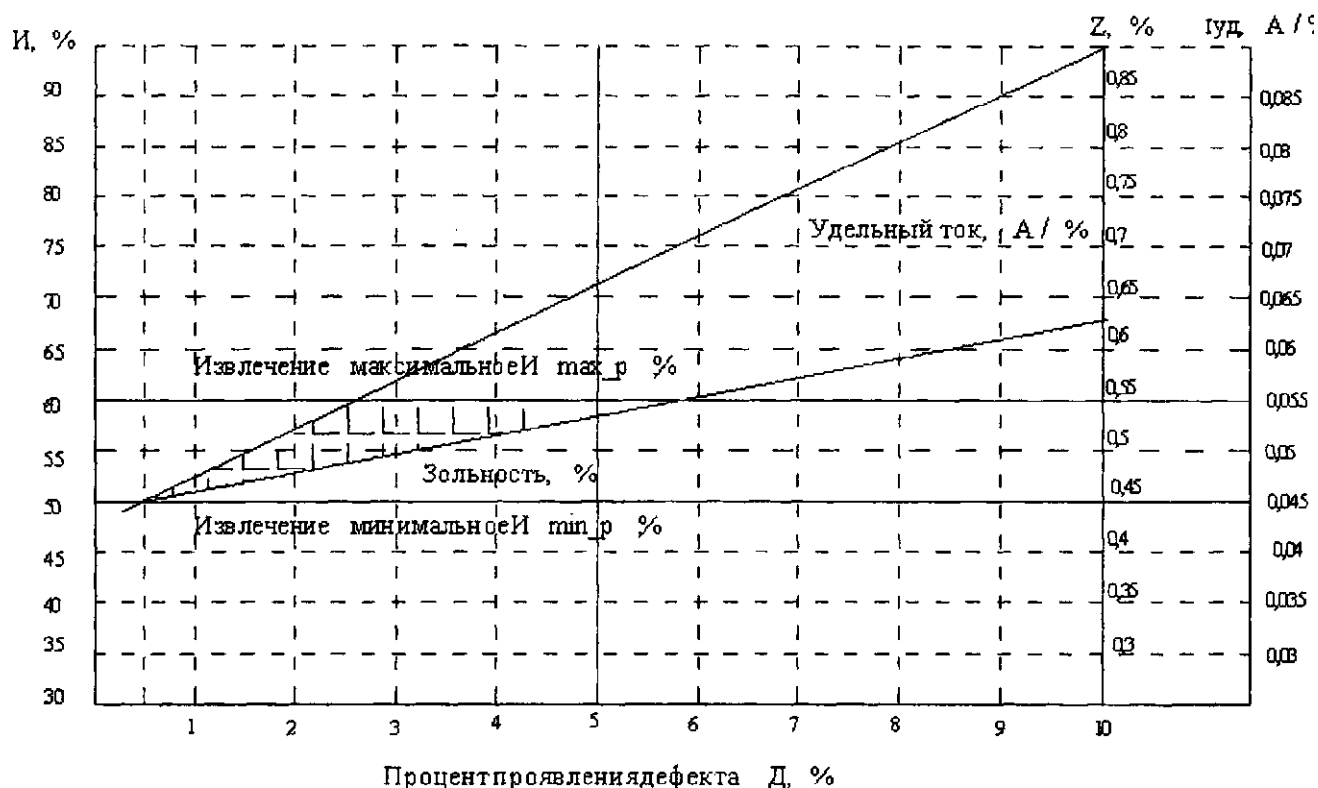


Рисунок 5 - Оптимизация рабочей зоны по извлечению муки на 1-й размольной системе

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что оптимальное извлечение муки на 1-й размольной системе получается при изменении быстроизменяющихся дефектов до 5%.

Заключение

На основании экспериментальных данных построены зависимости извлечения, зольности, удельного тока от процента проявления быстроизменяющихся дефектов. Построены математические модели оптимизации состояния рабочей зоны мукомольного вальцового станка процесса избирательного измельчения зерна. В результате решения этих моделей определено оптимальное состояние рабочей зоны мукомольного вальцового станка при любом изменении процента проявления быстроизменяющихся дефектов.

Наилучшие количественно-качественные показатели процесса избирательного измельчения достигаются при проявлении быстроизменяющихся дефектов до 5 %.

Литература

1. Иванов, А.В. Система контроля работы мукомольных вальцовых станков/ А.В. Иванов, Е.Л. Волынская, Ж.В. Кошак// Хранение и переработка сельхозсырья. – М.: – 2005. – № 6. – С. 58.
2. Волынская, Е.Л. Система оценки качества работы мукомольных вальцовых станков/ Е.Л. Волынская, Ж.В. Кошак, Н.В. Иванова// NEW TECHNOLOGIES IN TRADITIONAL FOOD. International scientific-practical conference. Reports. Responsible of edition: D. Karklina, Jelgava, FFT. – 2005. – С. 232–235.
3. Кошак, Ж.В. Повышение технологической эффективности измельчения зерна в вальцовом станке посредством устранения быстроизменяющихся факторов межвальцового зазора: Автореф. дис. к-та техн. наук: 05.18.01/ Могилевский госуд. технологич. ин-т. – Могилев. – 2002. – 19с.

Поступила в редакцию 18.03.2009