

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНА В ВАЛЬЦОВЫХ ДРОБИЛКАХ

О. Н. Пчелинцева, Д. И. Фролов

В данной работе рассмотрен процесс измельчения зерна замкнутого цикла на вальцовых дробилках. Определены оптимальные сочетания величин межвальцового зазора и удельной нагрузки, обеспечивающие наибольшую величину извлечения на основе однофакторного эксперимента.

Ключевые слова: помол, степень измельчения, дробилка, зазор, сито.

Введение

В современных экономических условиях при насыщенности рынка и постоянно прогрессирующей конкуренции основным направлением при производстве продуктов питания является создание новых ресурсосберегающих технологий и технических средств реализующих интенсивные экономические процессы. Одним из решающих условий ускорения роста темпов производства продукции, повышения ее качества и снижения себестоимости.

Помол зерна состоит из двух операций: собственно помола зерна и просеивания продуктов помола. Помолы могут быть разовыми и повторительными.

Разовый помол осуществляется за один прием. При этом зерно измельчается в муку полностью вместе с оболочками. Такая мука отличается низким качеством, имеет темный цвет и неоднородна по размеру частиц. Чтобы улучшить качество муки разового помола, из нее путем просеивания отбирают некоторое количество крупных оболочек (отрубей). Разовые помолы применяют достаточно редко. Осуществляют их на молотковых дробилках.

Повторительные помолы более совершенны. Зерно измельчается в муку путем многократного прохождения через измельчающие машины, которые называются вальцовыми станками. После каждого измельчения полученные продукты сортируют по крупности в просеивающих машинах, которые называются отсевами [1].

Простой повторительный помол включает один драной процесс либо драной и сокращенный размольный. Он осуществляется следующим образом: зерно последовательно измельчают на нескольких (3-4) вальцовых станках. После каждого станка смесь просеивают и отбирают муку в виде прохода с нижнего сита. Более крупные сходы с сит направляют на следующую пару вальцов. Эту операцию проводят до тех пор, пока все частицы не превратятся в муку. Муку со всех отсевов объединяют, проводят контрольное просеивание и получают муку одного сорта. При обойном помоле выход ржаной муки составляет 95%, количество отобранных отрубей 2%, а выход пшеничной муки - 96% при выходе отрубей - 1% [2].

По характеру применяемых усилий при измельчении различают раздавливание (сжатие), разрыв, срез (сдвиг), истирание, удар, раскалывание. Способ воздействия определяется физическими характеристиками измельчаемого материала и необходимой степенью измельчения, под которой чаще всего понимают отношение средних размеров частиц до и после измельчения. Применяют и другие показатели степени измельчения: количество прохода материала через сито с определенным размером отверстий и пр. По степени измельчения различают крупный, средний, мелкий тонкий и коллоидный помолы. Измельчение проводят по открытому или закрытому циклу. При замкнутом цикле после деления на сите более крупная фракция снова поступает на мельницу, а мелкая идет в дальнейшую переработку. Замкнутый цикл осуществляют в одной установке (машине) либо при многократном последовательном измельчении и разделении продуктов. Для измельчения применяют щечковые конусные, вальцовые и ударные дробилки, шаровые, стержневые, вибрационные и другие мельницы [3].

При моделировании замкнутых схем измельчения необходимо рассматривать процессы измельчения и сепарирования одновременно. Основными параметрами, характеризующими процессы измельчения, являются количество подаваемого продукта, физические либо иные свойства исходного продукта, засор между рабочими органами, скорости рабочих органов и, их отношение либо относительная скорость. Кроме перечисленных параметров, которыми можно управлять, входными также могут быть геометрическая форма рабочих органов состояние поверхности свойства окружающей среды и особенности технологической схемы [4].

Выходными параметрами являются количество измельченного продукта, степень измельчения, технологическая либо экономическая эффективность процесса измельчения. Характеризовать процесс измельчения можно также формой, размерами, структурой, состоянием поверхности измельченных частиц и пр. Выходными параметрами процесса измельчения могут быть также показатели работы и эксплуатации измельчающих установок, усилия на отдельные узлы машины, износ поверхностей и т. п. В замкнутых схемах эти характеристики следу-

ет дополнять величиной рециркулирующего потока, и параметрами рабочих органов разделяющих устройств.

Теоретические представления о процессах измельчения позволяют установить качественные зависимости расхода энергии и выхода отдельных фракций измельченного продукта от степени измельчения. Некоторые количественные характеристики устанавливаются на основании анализа материальных и энергетических потоков. Поэтому математические описания процессов измельчения основаны в основном на экспериментальных данных.

Целью работы является обоснование оптимальных параметров процесса дробления зерна на вальцовых дробилках по замкнутому циклу.

Объект и методы исследования

Степень измельчения продукта в вальцовой дробилке зависит от значительного числа количественных и качественных факторов, определяющих режим измельчения и свойства выходного продукта, и является основным показателем качества процесса. Наибольшее влияние на измельчение оказывают удельная нагрузка продукта на единицу длины вальцов в единицу времени q , зазор между рабочими поверхностями вальцов δ , окружные скорости быстрого и медленного вальцов и состояние поверхности вальцов, свойства измельчаемого продукта и т.п. [5].

Поставим задачу определения сочетаний величин межвальцового зазора δ и удельной нагрузки q , обеспечивающих наибольшую величину извлечения (проход через сито определенного размера) на вальцовой дробилке при прочих постоянных значениях факторов. Если δ и q представить двумя взаимно перпендикулярными осями, то значения N можно откладывать на перпендикулярной третьей оси. Тогда в факторном пространстве получим геометрическое место точек значений извлечений при различных комбинациях δ и q , т. е. поверхность отклика. При этом решение поставленной задачи сводится к отысканию на поверхности отклика такой точки, для которой значение N будет иметь наибольшее значение.

План экстремального эксперимента предполагает выбор на поверхности отклика начальной точки, положение которой находится, возможно, ближе к точке экстремума. Поскольку исследуется только определенная область факторного пространства, ограниченная предельными практически возможными значениями выбранных факторов δ , то искомый экстремум может быть безусловным и условным. Затем проводится серия опытов при значениях факторов δ и q , соответствующих начальной точке, и измеряется значение N . После этого исследуют поверхность отклика вокруг начальной точки путем проведения опытов при уменьшении и увеличении значений влияющих факторов на величину

заранее обоснованного шага. Выбор центра плана и шага являются наименее формализованными этапами составления модели.

Результаты и их обсуждение

В результате обработки методами наименьших квадратов или средних получаем уравнения регрессии, по коэффициентам которых определяет на поверхности отклик в выбранной точке направление наибольшего ее ската. В дальнейшем по методу «крутого восхождения» на поверхности отклика в направлении ее наибольшего подъема выбираем новую точку и в ее окрестности повторяем исследование поверхности. Поочередное проведение экспериментов повторяем до тех пор, пока не будет достигнуто наибольшее значение извлечения. Такую схему планирования можно применять для каждого из выбранных факторов в отдельности, т. е. если одни из факторов подвергаются изменению, то остальные поддерживаются постоянными на заранее обоснованных уровнях.

Для определения числа повторностей изменений, обеспечивающих достоверность результатов, необходимо поставить предварительную серию опытов. Приняв ориентировочно число изменений в предварительной серии $n_0 = 10$ и произведя десять помолов (опытов) при $\delta = 0,48$ мм и $q = 40$ кг/(см · ч), получим вариационный ряд 64, 60, 63, 59, 61, 64, 63, 56, 63, 62, каждый член которого представляет значение N , измеренное с точностью, не превышающей предельного отклонения $\epsilon = 1$.

Из полученного ряда построим ранжированный ряд 56, 59, 60, 61, 62, 63, 63, 63, 63, 64, 64 и проверим наличие в нем аномальных значений. Для этого вычислим среднее значение $x_{cp} = 61,5$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma = 2,506$. Далее, вычислив для первого x_1 и последнего x_{10} членов ряда значения коэффициентов.

$$\beta = \frac{x_{cp} - x_1}{\sigma} = \frac{61,5 - 56}{2,506} = 2,18;$$

$$\beta_{10} = \frac{x_{10} - x_{cp}}{\sigma} = \frac{64 - 61,5}{2,506} = 0,99;$$

и сравним их с табличным значением

$\beta_{\alpha-n} = 2,03$, полученным при уровне значимости $\alpha = 0,1$ (доверительной вероятности $p = 0,9$) и числе

опытов $n = 10$, установим $\beta > \beta_{\alpha-n}$ и $\beta_{10} < \beta_{\alpha-n}$. Следовательно, первый член ряда является аномальным и его нужно исключить. После этого проверим на аномальность второй член ряда, для которого коэффициент β_2 составит:

$$\beta_2 = \frac{x_2 - x_{cp}}{\sigma} = \frac{61,5 - 59}{2,506} = 0,99;$$

Таким образом, второй член ряда с выбранной

доверительной вероятностью $p=0,9$ принадлежит рассматриваемому ряду, который перепишем в виде 59, 60, 61, 62, 63, 63, 63, 64, 64.

Для нового ряда из $n_1 = 9$ членов вычислим среднее значение $x_{cp} = 62,1$, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 1,76$ и определим с учетом критерия Стьюдента $t_{\alpha-n} = 1,86$ (для $n_1=9$ и $\alpha=0,1$) минимально необходимое число опытов:

$$n_{\min} = \frac{t_{\alpha-n}^2 \times \tau^2}{\epsilon^2} = \frac{(1,86)^2 \times (1,76)^2}{1^2} = 10,78;$$

Так как расчетное число опытов $n_{\min} = 11$ и превышает действительное $n_1=9$, то необходимо провести дополнительно несколько опытов. Выполнив еще один помол, полученное значение $N = 61$ включим в ранжированный вариационный ряд 59, 60, 61, 61, 62, 63, 63, 63, 64, 64.

Среднее значение этого ряда из $n = 10$, рассчитанное с учетом дополнительного опыта, будет $x_{cp} = 62$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma = 1,67$. Тогда расчетное число опытов составит при $t_{\alpha-n} = 1,83$

$$n_p = \frac{(1,83)^2 \times (-1,67)^2}{1^2} = 9,31 \approx 10;$$

Поскольку расчетное число повторения опытов меньше действительного, то полученные результаты можно считать достоверными с доверительной вероятностью $p = 0,9$ при $\sigma = 0,48$ мм и $q = 40$ кг/(см · ч) среднее значение извлечения $N = 62$.

При однофакторном эксперименте выбираем шаг варьирования величины удельной подачи $\lambda = 10$ кг/(см · ч). Проведя эксперимент при $q = 30$ кг/(см · ч) и $q = 50$ кг/(см · ч) и выполнив соответствующую обработку результатов, получим ряд зависимости:

N от q
q 30 40 50;
N 59 62 63.

Предполагая, что на данном участке зависимость может быть аппроксимирована прямой $N = b_0 + b_1q$

Список литературы

1. Черепанов Т.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 2007. 640 с.
2. Вердиян М. А. Анализ технологических схем измельчения/М. А. Вердиян, В. В. Кафаров, В. Л. Петров и др.//Цемент.- 2005.- № 4.- С. 15–17.
3. Кафров В. В. «Математические модели структуры потока материала в мельницах». -М., КолосС, 2008.
4. Остапчук Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Высш. шк., – 1991. – 367 с.
5. Линч, А. Цикл дробления и измельчения: моделирование, оптимизация, проектирование/А. Линч. – М.: Недра, 2001. – 456 с.

составим систему уравнений

$$\begin{aligned} b_0 + 30b_1 &= 59; \\ b_0 + 50b_1 &= 63. \end{aligned}$$

решив которую, получим значения коэффициентов $b_0 = 53$ и $b_1 = 0,2$. Тогда зависимость в общем виде будет представлена выражением

$$N = 53 + 0,2q.$$

Наибольшее отклонение расчетов значения $N = 61$ от действительного $N = 62$ не превышает 1,7 %.

Так как в полученной зависимости значение углового коэффициента b_1 при q имеет положительный знак, то увеличение извлечения возможно только при увеличении нагрузки.

Изменяя значение нагрузки на величину выбранного шага, проведем еще две серии опытов при $q = 60$ кг/(см · ч) и $q = 70$ кг/(см · ч), тогда зависимость извлечения от нагрузки следующая:

q 30 40 50 60 70;
N 59 62 63 65 61.

Выводы

Анализ показывает, что увеличение извлечения наблюдается только при увеличении удельной нагрузки до значения $q = 60$ кг/(см · ч), которое ориентировочно можно принять за наиболее рациональную нагрузку. Чтобы определить точно значение нагрузки, исследуем зависимость $N = f(q)$ в области точки с $q = 60$ кг/(см · ч), уменьшив шаг варьирования.

Однако полученное оптимальное значение q действительно только при $\sigma = 0,48$ мм. Определение зависимости $N = f(\sigma)$ требует при однофакторном эксперименте постановки также значительного количества опытов. Полученный результат при оптимальном значении зазора будет действительным только при среднем значении нагрузки.

DETERMINATION OF OPTIMUM PROCESS PARAMETERS CEREAL ON A ROLLER CRUSHER

O. N. Pchelintseva, D. I. Frolov

In this paper we consider the process of grain refinement on the closed-loop roller crushers. The optimal combination of variables between the roller gap and the specific load, providing the greatest value extraction on the basis of single-factor experiment.

Keywords: grinding, crushing ratio, crusher, gap, sieve.

References

1. Cherepanov T. P. Mechanics of brittle fracture. M.: Nauka, 2007.-640 p.
2. Verdiyana M. A. Analysis of technological schemes grinding/M. A. Verdiyana, V. V. Kafarov, V. L. Petrov et al.//Tsement.- 2005. – № 4. – S.15–17.
3. V. V. Kafr «Mathematical models of the structure of the material flow in the mill.» -M., Colossus, 2008.
4. Ostapchuk N. V. Fundamentals of mathematical modeling of processes of food production: Proc. allowance. – 2nd ed., Rev. and add. – K.: Vyssh. shk., – 1991. – 367 p.
5. Lynch, A. crushing and grinding cycle: modeling, optimization, design/A. Lynch. – M.: Nedra, 2001. – 456 p.