

АНАЛИЗ РАБОТЫ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА С СЕПАРАТОРОМ В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ

Сергей Васильевич Мерчалов, кандидат технических наук,
доцент кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.1.83

Цель исследования – изучение образования циркулирующей нагрузки при работе дробилки с включением операции сепарирования. Объект исследования – дробилка с сепаратором, работающая в едином замкнутом цикле. Методы исследования – стандартный математический аппарат. Включение в замкнутую технологическую линию измельчения зерна сепарирующего устройства приводит к образованию нескольких циркулирующих постоянных нагрузок в установившемся режиме. В рабочей камере дробилки образуется внутренняя циркулирующая нагрузка, а при использовании сепаратора образуется внешняя циркулирующая нагрузка, которая также поступает в камеру измельчения дробилки. Эти нагрузки состоят как из массы готового мелкого продукта, так и из крупного, который необходимо доизмельчать. Выявлены закономерности образования данных нагрузок. Получены выражения для расчета циркулирующих нагрузок в абсолютной и относительной величине. Величины нагрузок будут зависеть от соотношения содержания крупной фракции к готовому продукту и эффективности работы сепаратора. Чем больше это соотношение и ниже эффективность работы сепаратора, тем больше данная величина, что подтверждается зависимостями, представленными в работе. Присутствие в циркулирующей нагрузке внутри рабочей камеры мелкого готового продукта является нежелательным фактором, что приводит к увеличению затрат энергии на измельчение и ухудшению качества готового корма (переизмельчение). Для работы дробилок закрытого и открытого типа с включением операции сепарирования важную роль играют сепарирующие устройства. Они должны максимально возможно выделять из измельченной дерти частицы готового корма, что будет повышать производительность процесса измельчения зерна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дробилка, камера измельчения, сепаратор, циркулирующая нагрузка, геометрическая прогрессия, цикл.

The objective of research was to study the formation of circulating load during the operation of a crusher with separation function turned on. The object of study was a crusher with separator operating in a single closed circuit. Research methods included the standard mathematical formalism. Inclusion of a separating device in a closed process line of grain grinding leads to the formation of several permanent circulating loads if operating in steady state. The inner circulating load is formed inside the crusher's working chamber, while during the use of a separator the outer circulating load is formed, which also enters the grinding chamber of the crusher. These loads consist of both fine and coarse finished product weight, and the latter product has to be regrinded. The author has identified the patterns of formation of these loads and obtained the expressions for calculating the circulating loads in the absolute and relative value. Load values will depend on the ratio of content of coarse fraction to the finished product and efficiency of the separator. The greater the defined ratio and the lower the efficiency of the separator, the greater this value will be, this conclusion is confirmed by the dependences presented in this work. The presence of circulating load inside the working chamber with fine finished product is an undesirable factor, which leads to increased energy consumption for crushing and decreased quality of finished feed (overgrinding). For closed- and open-type crushers the inclusion of a separation operation determines an important role of separation devices. They should recover finished feed particles from crushed bulk to the maximum possible extent, which will increase the productivity of grain grinding process.

KEY WORDS: crusher, crushing chamber, separator, circulating load, geometric progression, cycle.

В дробилках закрытого типа при измельчении зерна с включением операции сепарирования образуется несколько циркулирующих постоянных нагрузок [5, 10].
Цель исследования – изучение образования циркулирующей нагрузки при работе дробилки с включением операции сепарирования.

Объект исследования – дробилка с сепаратором, работающая в едином замкнутом цикле.

В рабочей камере образуется циркулирующий слой продукта, массу которого обозначим через S_1 и назовем внутренней циркулирующей нагрузкой. При использовании сепаратора в замкнутом цикле образуется внешняя циркулирующая нагрузка, которую можно выразить абсолютной величиной – массой S_2 .

Схема измельчения зерна дробилкой замкнутого типа с сепаратором при установившемся режиме работы представлена на рисунке 1.

Данные нагрузки можно выразить через относительные величины C_1 и C_2 по отношению к массе исходного продукта.

$$C_1 = \frac{S_1}{Q}, \quad C_2 = \frac{S_2}{Q}, \quad (1)$$

где C_1, C_2 – относительные величины нагрузок, в долях;

S_1, S_2 – абсолютные величины внутренней и внешней циркулирующей нагрузки, кг;

Q – количество продукта, поступившего в дробилку, кг.

Тогда общая циркулирующая нагрузка в массовом количестве составит

$$S_{\text{общ}} = S_1 + S_2, \quad (2)$$

а относительная величина общей циркулирующей нагрузки

$$C_{\text{общ}} = \frac{S_{\text{общ}}}{Q}. \quad (3)$$

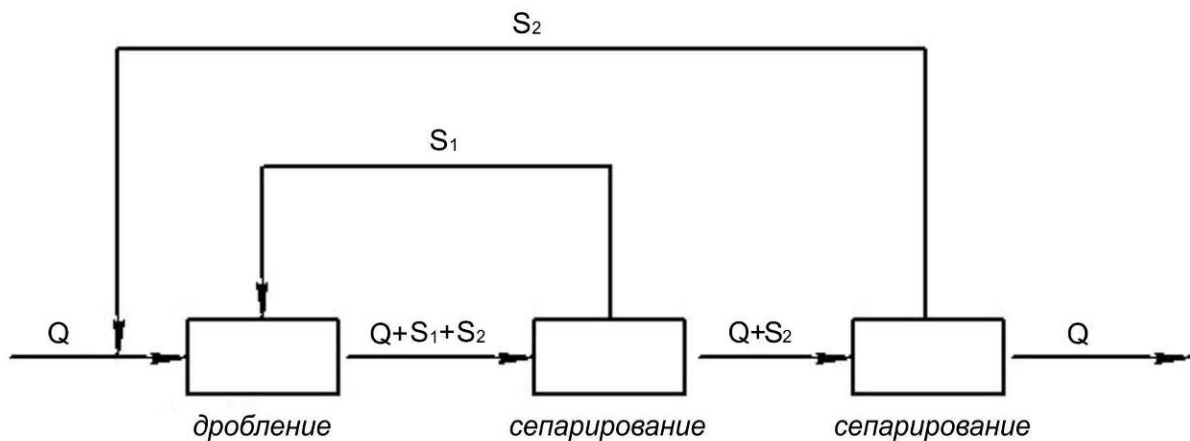


Рис. 1. Технологическая схема измельчения зерна в дробилке с сепаратором в замкнутом цикле:

Q – количество продукта, поступившего в дробилку;

S_1, S_2 – абсолютные величины внутренней и внешней циркулирующей нагрузки

Поступающую на измельчение порцию зерна обозначим через Q . При установившемся режиме замкнутого цикла в дробилку кроме внутренней циркулирующей нагрузки S_1 поступает внешняя циркулирующая нагрузка S_2 . Сумма данных нагрузок составляет комбинированную нагрузку

$$Q + (S_1 + S_2) = Q \cdot (1 + C_{\text{общ}}). \quad (4)$$

Тогда в готовый продукт после сепарирования уходит разность между комбинированной нагрузкой и оборотной

$$Q \cdot (1 + C_{\text{общ}}) - S_{\text{общ}} = Q \cdot (1 + C_{\text{общ}}) - C_{\text{общ}} \cdot Q = Q. \quad (5)$$

Определим величину нагрузок S_1 и S_2 .

Пусть процесс измельчения зерна в дробилке и его сепарирование происходит непрерывно. Время перехода целого зерна в готовый продукт после операции сепарирования обозначим через T . Разложим его на ряд временных циклов t , тогда число циклов (или оборотов) частиц зерна до его полного перехода в готовый продукт составит

$$n = \frac{T}{t}, \quad (6)$$

где n – число циклов измельчения;

T – время перехода целого зерна в готовый продукт, с;

t – время одного цикла движения частицы от дробилки до сепаратора и обратно, с.

За время одного цикла t в дробилку поступает зерно в количестве

$$q = \frac{Q}{T} \cdot t. \quad (7)$$

В первом цикле измельчения образуется определенное количество крупной фракции

$$q_{k_1} = q \cdot e^{-kt}, \quad (8)$$

а также определенное количество мелкого продукта

$$q_{M_1} = q \cdot (1 - e^{-kt}). \quad (9)$$

Определим количество крупного и мелкого продукта, остающегося после первого цикла измельчения в дробилке. Обозначим через E_1 эффективность выделения крупной фракции через сито дробилки, через E_2 – эффективность выделения мелкой фракции через сито дробилки. Тогда после первого цикла измельчения крупный продукт в дробильной камере останется в количестве

$$q_{k_1} = q \cdot e^{-kt} \cdot (1 - E_1), \quad (10)$$

а мелкий продукт останется в количестве

$$q_{M_1} = q \cdot (1 - e^{-kt}) \cdot (1 - E_2), \quad (11)$$

которые перейдут во второй цикл измельчения.

Во втором цикле измельчения из остатка крупной фракции первого цикла образуется крупный продукт в количестве:

$$q_{k_2} = q \cdot e^{-2kt} \cdot (1 - E_1),$$

а мелкий в количестве:

$$q_{M_2} = q \cdot e^{-kt} (1 - e^{-kt}) \cdot (1 - E_2).$$

После выхода через сито дробилки крупный продукт в рабочей камере во втором цикле останется в количестве

$$q_{k_2} = q \cdot e^{-2kt} \cdot (1 - E_1)^2,$$

которое перейдет в третий цикл измельчения, и т. д.

Суммируя количество остатков крупного продукта, остающегося в дробилке, в предположении, что число t временных циклов бесконечно большое, получим массу S_k циркулирующей внутренней нагрузки от крупного продукта.

$$S_k = q \cdot e^{-kt} \cdot (1 - E_1) + q \cdot e^{-2kt} \cdot (1 - E_1)^2 + q \cdot e^{-3kt} \cdot (1 - E_1)^3 + \dots$$

Ряд представляет бесконечно убывающую геометрическую прогрессию со знаменателем $e^{-kt} \cdot (1 - E_1)$, тогда масса крупной фракции, циркулирующей внутри дробилки при измельчении q зерна, будет равна

$$S_k = \frac{e^{-kt} \cdot (1 - E_1)}{1 - e^{-kt} \cdot (1 - E_1)} \cdot q. \quad (12)$$

Рассуждая аналогичным образом, получили выражения для определения внутренней, внешней и общей циркулирующей нагрузки при работе дробилки с сепаратором в замкнутом цикле с учетом производительности дробилки Q и времени измельчения T

$$S_1 = \left[\frac{e^{-kT} \cdot (1 - E_1)}{1 - e^{-kT} \cdot (1 - E_1)} + \frac{1 - E_2}{(1 - E_1) \cdot E_2} \right] \cdot Q. \quad (13)$$

Выражение для определения внешней абсолютной циркулирующей нагрузки S_2 выглядит следующим образом:

$$S_2 = \left[\frac{e^{-kT} \cdot E_1}{1 - e^{-kT} \cdot E_1} + \frac{E_2 \cdot (1 - E_3)}{1 - E_2 \cdot (1 - E_3)} \right] \cdot Q. \quad (14)$$

где E_3 – эффективность выделения мелкой фракции сепаратором.

Суммируя значения выражений (13) и (14), получим общую абсолютную циркулирующую нагрузку при работе дробилки с сепаратором в едином замкнутом цикле при измельчении Q зерна.

$$S_{\text{общ.}} = \left[\frac{e^{-kT} \cdot (1 - E_1)}{1 - e^{-kT} \cdot (1 - E_1)} + \frac{1 - E_2}{(1 - E_1) \cdot E_2} \right] \cdot Q + \left[\frac{e^{-kT} \cdot E_1}{1 - e^{-kT} \cdot E_1} + \frac{E_2 \cdot (1 - E_3)}{1 - E_2 \cdot (1 - E_3)} \right] \cdot Q. \quad (15)$$

Анализ уравнения (15) показывает, что при работе дробилки закрытого типа с включением операций сепарирования образуется дополнительная внешняя циркулирующая нагрузка, состоящая из крупных и мелких фракций, величина которой будет зависеть от соотношения содержания крупной фракции к готовому продукту и эффективности работы сепаратора. Чем больше это соотношение и ниже эффективность работы сепаратора, тем больше данная величина, что подтверждается зависимостями, представленными на рисунке 2.

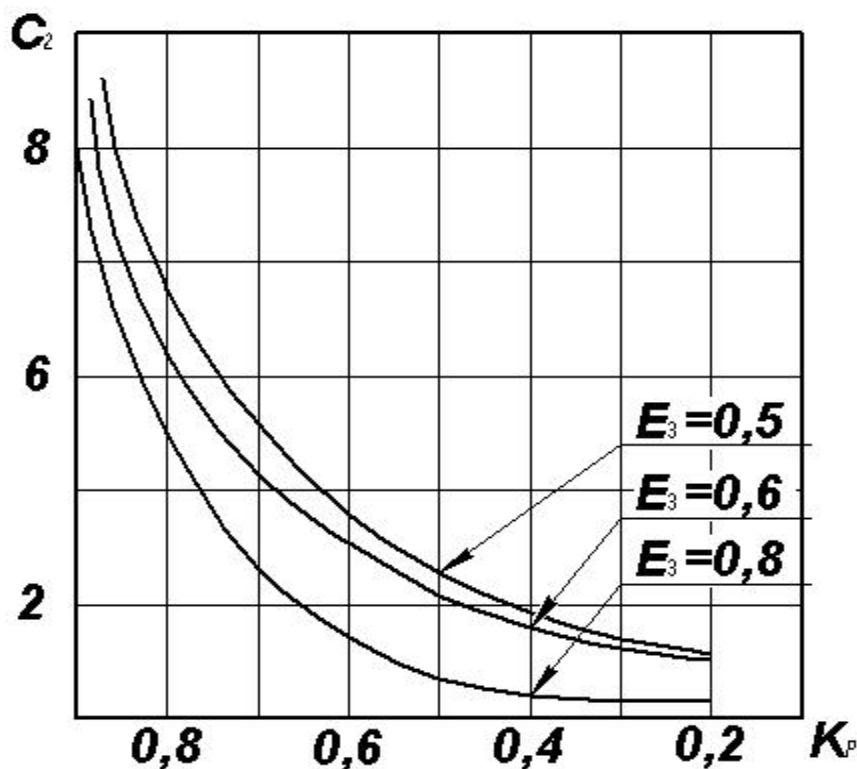


Рис. 2. Влияние соотношения содержания крупной фракции к готовому продукту K_p и эффективности сепарирования E_3 на относительную величину циркулирующей нагрузки C_2

Присутствие в циркулирующей нагрузке внутри рабочей камеры мелкого готового продукта является нежелательным фактором, что приводит к увеличению затрат энергии на измельчение и ухудшению качества готового корма (переизмельчение) [2, 4, 6].

Для работы дробилок закрытого и открытого типа с включением операции сепарирования важную роль должны выполнять сепарирующие устройства. Они должны максимально возможно выделять из измельченной дерти частицы готового корма, работать с высокой эффективностью сепарирования [1, 3, 8]. Улучшение работы сепарирующих устройств является главной задачей при разработке технологического процесса измельчения зерна с включением операции сепарирования [7, 9].

Список литературы

1. Афанасьев В.А. Исследование двухстадийного процесса измельчения предсмесей зернового и гранулированного сырья на Кузнецовском комбикормовом заводе / В.А. Афанасьев, А.Н. Плаксина // Труды ВНИИКП ВНПО «Комбикорм», 1986. – Вып. 28. – С. 28-34.
2. Афанасьев В.А. Эффективность двухстадийного измельчения сырья при производстве комбикормов для животноводческих комплексов / В.А. Афанасьев, А.Н. Плаксина // Труды ВНИИКП ВНПО «Комбикорм», 1987. – Вып. 30. – С. 61-65.
3. Баранов Н.Ф. Сравнительные исследования дробилок с пневмосепараторами / Н.Ф. Баранов // Механизация процессов в животноводстве и кормопроизводстве : сб. науч. тр. – Пермь, 2003. – С. 242-245.
4. Дорофеев Н.С. Совершенствование технологических схем и параметров измельчителей фуражного зерна / Н.С. Дорофеев // Механизация подготовки кормов в животноводстве : сб. науч. тр. Воронежского сельскохозяйственного института. – Воронеж, 1984. – С. 68-100.
5. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Ленинград : Колос, 1978. – 560 с.
6. Мерчалов С.В. Влияние внешней циркулирующей нагрузки на производительность дробилки / С.В. Мерчалов // Совершенствование технологий и технических средств механизации сельского хозяйства : сб. науч. тр. / Воронежский государственный аграрный университет. – Воронеж, 2003. – С. 239-242
7. Пат. №2334556 Российская Федерация, МПК В 02С 13/04 (2006.01). Дробилка кормов / Мерчалов С.В., Мерчалов А.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. – № 2007107013/03; заявл. 26.02.07; опубл. 27.09.08, Бюл. № 27. – 3 с.
8. Пеев Г.Д. Исследование безрешетной дробилки с вихревым сепаратором / Г.Д. Пеев // Науч. тр. ВИЭСХ, 1986. – Т. 62. – С. 100-106.
9. Ревенко И.И. Дробилка концентрированных кормов / И.И. Ревенко, Г.Д. Пеев // Сельское хозяйство Молдавии. – 1986. – № 10. – С. 42-44.
10. Щеглов В.В. Корма: приготовление, хранение, использование / В.В. Щеглов, Л.Г. Боярский. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 255 с.