

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСО-КОСТНЫХ КОРМОВ МЕТОДОМ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ

*Гаврилов Т.А.*

**Ключевые слова:** измельчение, приготовление кормов, циклы нагружения, крупности частиц, стохастическая модель, кумулятивное повреждение, цепи Маркова.

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию влияния количества циклов нагружения мясо-костных кормов рабочими органами измельчителей на крупность частиц готового корма. Предложен метод моделирования процесса измельчения мясо-костных кормов посредством стохастической В-модели кумулятивного повреждения. Построенная В-модель позволяет определить оптимальное количество циклов нагружения мясо-костных кормов рабочими органами измельчителей, при котором обеспечивается требуемая крупность частиц готового мясо-костного корма и не происходит излишних энергозатрат процесса измельчения.

## MODELING THE PROCESS OF GRINDING MEAT AND BONE FEED BY THE METHOD OF DAMAGE ACCUMULATION

*Gavrilov T.A.*

**Keywords:** grinding, feed preparation, loading cycles, particle size, stochastic model, cumulative damage, Markov chains.

**Abstract.** The article is devoted to the study of the influence of the number of cycles of loading meat and bone feed with the working bodies of grinders on the particle size of the finished feed. The method for modeling the process of grinding meat and bone feed using a stochastic B-model of cumulative damage is proposed. The constructed B-model make it possible to determine the optimal number of cycles of loading meat and bone feed with the working bodies of the grinders, at which the required particle size of the finished meat and bone feed, and there is no unnecessary energy consumption of the grinding process.

В соответствии с зоотехническими требованиями крупность частиц готового мясо-костного корма должна удовлетворять максимальной скорости течения биологической реакции, т.е. быть в пределах 3...5мм. Эффективность процесса измельчения в первую очередь зависит от конструктивно-технологических параметров работы измельчителей. В связи с чем, исследования направленные на изучение влияния конструктивно-технологических параметров измельчителей на крупность частиц готового мясо-костного корма, а также энергозатраты процесса измельчения мясо-костных кормов являются актуальными.

Для измельчения мясо-костных кормов в сельском хозяйстве используются различные измельчители. Общей особенностью многих из них является многоступенчатое измельчение, заключающееся в многоповторности циклов нагружения кормов рабочими органами.

Фокус большинства существующих исследований процесса измельчения мясо-костных кормов направлен на изучение влияния геометрических характеристик и скоростных режимов работы рабочих органов измельчителей на энергозатраты процесса измельчения [1, 2]. При этом вопрос влияния циклов нагружения мясо-костных кормов рабочими органами измельчителей

на крупность частиц готового корма, и в свою очередь на энергозатраты процесса измельчения остается изученным не достаточно, что является существенной проблемой.

В связи с чем, целью настоящей работы является исследования влияния количества циклов нагружения мясо-костных кормов рабочими органами измельчителей на крупность частиц готового корма.

Начальные размеры мясо-костных кормов, его прочностные свойства, стационарность подачи, колеблются в значительных пределах. В связи со случайной природой отмеченных факторов, образующих эволюцию процесса измельчения, можно утверждать, что сам процесс измельчения является случайным и для его описания необходимо использовать вероятностные модели. Такими моделями могут быть стохастические модели кумулятивного повреждения [3], основывающиеся на понимании изучаемого процесса на макроскопическом уровне и экспериментальных данных. Построение стохастической модели кумулятивного повреждения корма основывается на использовании цепей Маркова, вложенных в изучаемый физический процесс.

Представим, что процесс накопления повреждений происходит ступенчато со скачками в момент проведения измерений. Это не совсем адекватно процессу образования новых частиц мясо-костных кормов, но позволяет использовать для описания этого явления дискретную модель (дискретное время и конечное число состояний).

Разобьем весь процесс формирования выборочной функции на дискретные состояния  $S_1, S_2, \dots, S_{b-1}, S_b$ . Пусть в момент времени  $t = 0$  начальное значение среднего размера частиц мясо-костных кормов имеет разброс относительно среднего значения, что может быть отражено математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением.

Повреждение находится в состоянии  $S_1$  до момента, когда сила удара в соответствии с моделью удара не превышает критического уровня. На практике эта абстракция означает, что все циклические воздействия в проходящих процессах измельчения, приводящие к постепенному накоплению повреждений частиц корма, сводятся к импульсным периодическим воздействиям. Если значение ударного импульса превосходит критический уровень, то повреждение переходит в состояние  $S_2$ , а это состояние фиксируется в период проведения очередного измерения среднего размера частиц. В режущих аппаратах переход от состояния  $S_1$  к состоянию  $S_2$  не обязателен при каждом проходе ножа, т.к. вероятность попадания каждой последующих частиц мясо-костных кормов под воздействие ножа является случайной и не обязательной. Аналогично, что в состоянии  $S_2$  повреждение находится до тех пор, пока удар не превысит этот критический уровень, а после его превышения скачком переходит в состояние  $S_3$ , которое также фиксируется непосредственным измерением, и так далее до тех пор, когда достигнет состояния  $S_b$ , соответствующего предельному состоянию размеров частиц измельчаемых мясо-костных кормов (в соответствие с зоотехническими требованиями крупность частиц готового мясо-костного

корма должна удовлетворять максимальной скорости течения биологической реакции, т.е. быть в пределах 3...5мм).

В период между состояниями  $S_1, S_2, \dots, S_b$  происходит накопление повреждений материала в результате действия циклов нагружения на материал, причем интенсивность циклов нагружения статистически подобна и может быть принята приближенно постоянной. Это означает: то, что происходит с измельчаемыми мясо-костными кормами в одном цикле нагружения, происходит аналогично в другом цикле нагружения. При этом имеется в виду, что повреждения (изменение размеров частиц) рассматриваются систематически через какие-то промежутки времени в зависимости от конкретных особенностей процесса измельчения, что будет соответствовать условному началу и концу циклов нагружения.

Свойство марковости здесь проявляется следующим образом. Накопление повреждений в циклах нагружения зависит только от циклов нагружения и состояния повреждения в его начале и совершенно несущественно, как достигнут начальный уровень накопления повреждения (размера частиц). Повреждение материала, отмечаемое состоянием  $S_j$  на момент начала очередных циклов нагружения, может только увеличиваться и перейти в состояние с номером на единицу большим –  $S_{j+1}$  и никогда не возвращаться в предыдущее состояние.

Таким образом, подразумевается, что имеется модель, в которой все состояния переходные, кроме последнего поглощающего (В-модель). Следует также отметить, что В-модель ничего не говорит о количественных изменениях среди происходящих процессов внутри каждого цикла нагружения, т.е. рассматриваются взаимодействия с позиций физических законов. Такая модель кумулятивного повреждения измельчаемых мясо-костных кормов соответствует стационарному марковскому процессу с дискретным временем и состоянием, вложенному в непрерывный физический процесс накопления кумулятивного повреждения с единичными скачками. Она представляет собой матрицу переходных вероятностей, что в совокупности с вектором начальных состояний, который всегда может быть определен, позволяет определять вероятность достижения задаваемого по состояниям уровня размеров измельчаемых мясо-костных кормов и в дальнейшем установить функцию надежности ее достижения.

На основе данных измерений среднего размера частиц мясо-костных кормов после определенного цикла нагружения, была построена В-модель с параметрами:

$$r_j = \left. \begin{matrix} 1.99 \\ 2.62 \\ 3.46 \\ 4.02 \end{matrix} \right\}; j = \left. \begin{matrix} 1, 2 & b_1 = 3 \\ 4, 5 & b_2 = 6 \\ 7, 8, 9 & b_3 = 10 \\ 11, 12, 13, 14 & b_4 = 15 \end{matrix} \right\}, \quad (1)$$

где  $r_j = P_j / q_j$ ;  $P_j$  – вероятность того, что сила удара (размер частиц) ниже критического уровня (контрольного размера) и повреждение находится в

прежнем состоянии;  $q_j$  – вероятность того, что сила удара (размер частиц) выше критического уровня (контрольного размера) и повреждение переходит в новое состояние (реализация последовательности независимых испытаний, где  $q_j$  – вероятность успеха в одном испытании);

$b_1, b_2, b_3$  – переходные состояния процесса;  $b_4$  – поглощающее состояние процесса, соответствующее отказу в работе, т.е. достижение необходимого результата процесса измельчения.

В результате подстановки значений параметров В-модели (1) в зависимости для определения среднего количества циклов нагружения и дисперсии при достижении определенных конкретных значений размеров частиц мясо-костных кормов в процессе измельчения, получим аппроксимированные данные, которые наряду с экспериментальными значениями представлены на рисунке 1.

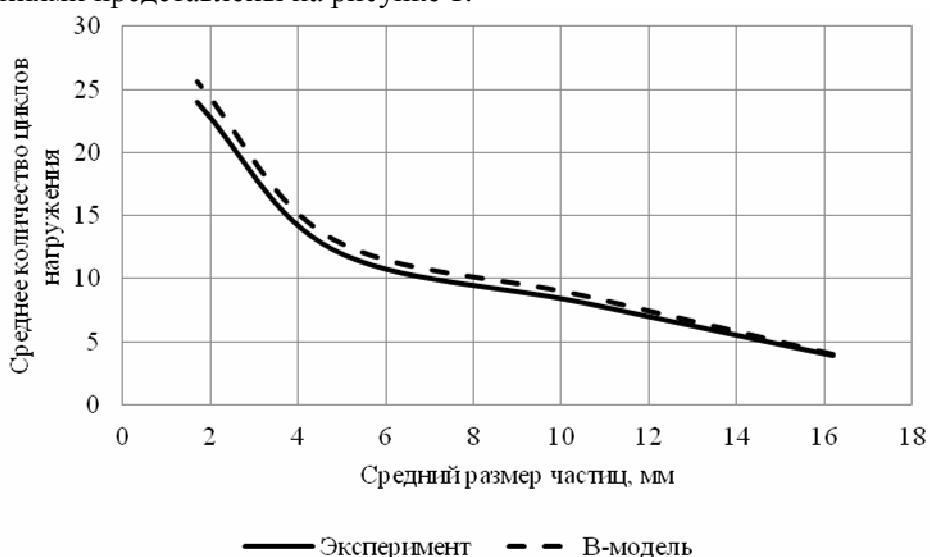


Рис. 1. Значение экспериментальных и расчётных данных В-модели

Сравнивая экспериментальные данные с данными В-модели, можно отметить удовлетворительную их сходимость. Анализ полученных результатов показывает, что требуемая крупность частиц готового мясо-костного корма (в соответствии с зоотехническими требованиями) достигается при среднем количестве циклов нагружения мясо-костных кормов рабочими органами измельчителей равно 12...18 циклов. Каждый излишний цикл нагружения приводит к переизмельчению мясо-костных кормов и увеличению энергозатрат процесса измельчения. Таким образом, при известной В-модели процесса измельчения мясо-костных кормов в дальнейшем может быть оптимизирована работа измельчающего аппарата и снижены энергозатраты на работу измельчителя в целом. В конструктивном отношении возможны изменения в измельчающем аппарате, например, уменьшение числа ножей.

### Список литературы

1. Станкевич Т.Б., Анпилогова О.А., Малинов Г.И., Гаврилов Т.А. The efficiency rise of the feeds grinding process by optimizing its parameters // Resources and Technology. 2015. №12(2). С. 89-97.
2. Гулевский В.А., Вертий А.А. Усовершенствование технологии измельчения грубых стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. №1(60). С. 73-81.
3. Dong W., Liu S., Bae S.J., Cao Y. Reliability modelling for multi-component systems subject to stochastic deterioration and generalized cumulative shock damages // Reliability Engineering & System Safety. 2021. № 205. 107260.

### References

1. Stankevich T.B., Anpilogova O.A., Malinov G.I., Gavrillov T.A. The efficiency rise of the feeds grinding process by optimizing its parameters // Resources and Technology. 2015. No 12(2). P. 89-97.
2. Gulevsky V.A., Vertij A.A. Improvements of technology of rough stalk forage grinding by chopper equipped with free-swinging combined knives // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2019. No 1(60). P. 73-81.
3. Dong W., Liu S., Bae S.J., Cao Y. Reliability modelling for multi-component systems subject to stochastic deterioration and generalized cumulative shock damages // Reliability Engineering & System Safety. 2021. No 205. 107260.

<b>Гаврилов Тиммо Александрович</b> – кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия, gavriltova@yandex.ru	<b>Gavrillov Timmo, Alexandrovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, Petrozavodsk state University, Petrozavodsk, Russia, gavriltova@yandex.ru
--	---

*Received 27.07.2021*