DOI: 10.17117/na.2015.02.114

Поступило в редакцию: 19.02.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.02.114.pdf>

Оболенский Н.В., Вандышева М.С., Свистунов А.И. Влияние конструкционных и технологических параметров измельчителя грубых кормов на его удельную работу

Obolenskiy N.V., Vandysheva M.S., Svistunov A.I.
**Influence of constructional and technological parameters
of a grinder of rolls on specific work of crushing**

В статье представлены результаты теоретических исследований, направленных на выявление зависимости удельной работы измельчения грубых кормов от конструкционных и технологических параметров измельчителя рулонов. Получена формула, на основании которой построены графики изменения удельной работы в зависимости от величины вылета молотка ротора. Выявлено, что наибольшее влияние на процесс измельчения оказывает величина радиуса ротора

Ключевые слова: аналитическая зависимость, измельчение, ротор, солома, удельная работа

Оболенский Николай Васильевич

Доктор технических наук, профессор
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Нижегородская область, г. Княгинино,
ул. Октябрьская, 22 А

Вандышева Марина Станиславовна

Старший преподаватель
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Нижегородская область, г. Княгинино,
ул. Октябрьская, 22 А

Свистунов Александр Иванович

Аспирант
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Нижегородская область, г. Княгинино,
ул. Октябрьская, 22 А

Results of the theoretical researches directed on detection of dependence of specific work of crushing of rough forages on constructional and technological parameters of a grinder of rolls are presented in article. The formula on the basis of which schedules of change of specific work depending on rotor hammer departure size are constructed is received. It is revealed that rotor radius size has the greatest impact on process of crushing

Key words: analytical dependence, crushing, rotor, straw, specific work

Obolenskiy Nikolay Vasilievich

Doctor of Technical Sciences, Profesor
Nizhniy Novgorod state engineering-economic
universitet
Novgorod region, Knyzginino, Octyabrskaya st., 22 A

Vandysheva Marina Stanislavovna

Senior Lecturer
Nizhniy Novgorod state engineering-economic
universitet
Novgorod region, Knyzginino, Octyabrskaya st., 22 A

Svistunov Aleksandr Ivanovich

Graduate
Nizhniy Novgorod state engineering-economic
universitet
Novgorod region, Knyzginino, Octyabrskaya st., 22 A

Грубые стебельные корма, такие как сено и солома – это ценное сырье для приготовления не только полноценных кормов, но и основа синтезированных [1]. Кроме того, солома широко применяется в качестве подстилки для сельскохозяйственных животных. В последнее время широкое распространение получило производство биогаза и пеллет, которые также могут быть получены из соломы [2].

Во всех технологиях с использованием грубых стебельных кормов предусмотрено их предварительное измельчение до необходимых размеров.

Измельчение грубых кормов в основном осуществляется измельчителями с молотковыми рабочими органами, так как они обладают рядом преимуществ: просты по устройству, надежны в работе, универсальны по отношению к переработке кормов с различными влажностью и физико-механическими свойствами. Но, наряду с преимуществами, имеются и недостатки, одним из которых является высокая энергоемкость процесса.

Поэтому целью работы было определение влияния конструкционных и технологических параметров измельчителя соломы на энергоемкость процесса измельчения.

За основу был принят разработанный Слободским машиностроительным заводом измельчитель рулонов ИР-1,8 (рис.1) [3], так как он имеет хорошие рабочие показатели, но требует больших затрат энергии.

Рис. 1. Измельчитель рулонов ИР-1,8

Эффективность процесса оценивали удельной работой Ауд на измельчение материала за один проход молотка, отнесенную к единице массы измельченного продукта.

Поставленная цель достигается молотковым ротором при тангенциальной подаче материала (рис.2). Рулон соломы радиусом $R_{рул}$ вращается с частотой $n_{рул}$. Навстречу ему вращается ротор, радиус по концам молотков которого составляет $R_{мол}$. Частота вращения молотков ротора равна $n_{мол}$. Молоток ротора отрезает от рулона соломы слой высотой δ .

Для упрощения дальнейших рассуждений сделаем некоторые допущения:

1. Рулон равномерно вращается с частотой $n_{рул}$, при этом от него без остатка отделяется слой высотой, равной δ ;

2. Уплотнение и разрушение материала молотком происходит по дуге CC_1 , длина которой характеризуется величиной угла $\Theta_{МОЛ}$;

3. Линейная скорость молотков постоянна и значительно выше линейной скорости рулона $v_{рул}$, поэтому абсолютная траектория движения отдельно взятого молотка по отношению к материалу близка к окружности.

Рис. 2. Кинематические параметры молоткового ротора при тангенциальной подаче материала

Удельная работа, затраченная на измельчение материала за один проход молотка, определится:

$$A_{уд} = \frac{A}{m}, \quad (1)$$

где A – работа, затраченная на измельчение материала по дуге CC_1 за один проход молотка; m – масса измельченного материала за проход молотка.

Работу можно рассчитать по формуле

$$A = M \cdot \omega_{МОЛ} \cdot t_{МОЛ}, \quad (2)$$

где M – среднее значение момента сопротивления от сжатия и разрушения материала за один проход молотка; $\omega_{МОЛ}$ – угловая скорость молоткового ротора; $t_{МОЛ}$ – время взаимодействия молотка с материалом по дуге CC_1 .

Момент сопротивления от сжатия и разрушения материала:

$$M = F \cdot R_{МОЛ}, \quad (3)$$

где F – результирующая сил сопротивления материала сжатию и разрушению; $R_{МОЛ}$ – радиус молотков.

Учитывая, что $t_{МОЛ} = S / v_{МОЛ}$, $S = \pi \cdot R_{МОЛ} \cdot \theta_{МОЛ} / 180$, $v_{МОЛ} = 2\pi \cdot n_{МОЛ} \cdot R_{МОЛ}$, определяем время вращения молотков:

$$t_{МОЛ} = \frac{\theta_{МОЛ}}{360 \cdot n_{МОЛ}}.$$

Выразим угол $\theta_{МОЛ}$ через параметры молоткового ротора (рис. 1):

$$\Theta_{\text{МОЛ}} = 2 \arccos \left(1 - \frac{\delta}{R_{\text{МОЛ}}} \right)$$

Тогда:

$$t_{\text{МОЛ}} = \arccos \left(1 - \frac{\delta}{R_{\text{МОЛ}}} \right) / (180 \cdot n_{\text{МОЛ}}) \cdot \quad (4)$$

Результирующую силу сопротивления материала сжатию и разрушению можно рассчитать, используя данные проведенных ранее исследований [4]:

$$F = \sqrt{\rho \cdot E} \cdot S \cdot v_{\text{МОЛ}} \quad (5)$$

С учетом того, что материал движется со скоростью $v_{\text{РУЛ}}$, формула (5) принимает вид:

$$F = \sqrt{\rho \cdot E} \cdot S \cdot (v_{\text{МОЛ}} + v_{\text{РУЛ}}) \quad (6)$$

Подставляем выражения (3), (4) и (6) в формулу (2) и преобразуем:

$$A = \pi^2 \sqrt{\rho \cdot E} \cdot \delta \cdot \Delta \cdot R_{\text{МОЛ}} \cdot (n_{\text{МОЛ}} R_{\text{МОЛ}} + n_{\text{РУЛ}} R_{\text{РУЛ}}) \cdot \arccos \left(1 - \frac{\delta}{R_{\text{МОЛ}}} \right) / 45. \quad (7)$$

Находим массу измельченного материала за проход молотка:

$$m = \rho \cdot V_{\text{РУЛ}}, \quad (8)$$

где ρ – плотность измельчаемого материала; $V_{\text{РУЛ}}$ – объем материала измельчаемого за проход молотка по дуге СС1.

Объем материала $V_{\text{РУЛ}}$ определяется перемножением площади срезаемого слоя и длины фронтальной поверхности среза, приходящейся на один молоток.

С учетом допущения 3, объем срезаемого слоя материала можно представить в виде следующей формулы

$$V_{\text{РУЛ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{РУЛ}} \cdot R_{\text{РУЛ}}}{n_{\text{МОЛ}}} \cdot \Delta \cdot \delta. \quad (9)$$

Подставляем выражение (9) в (8):

$$m = \rho \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{РУЛ}} \cdot R_{\text{РУЛ}}}{n_{\text{МОЛ}}} \cdot \Delta \cdot \delta. \quad (10)$$

С учетом формул (7) и (10) выражение удельной работы измельчения $A_{\text{уд}}$ из (1) определится:

$$A_{\text{уд}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \left(\frac{(n_{\text{МОЛ}} R_{\text{МОЛ}})^2}{n_{\text{РУЛ}} R_{\text{РУЛ}}} + n_{\text{МОЛ}} R_{\text{МОЛ}} \right) \cdot \frac{\arccos \left(1 - \frac{\delta}{R_{\text{МОЛ}}} \right)}{90} \quad (11)$$

На основании выражения (11) построены графики зависимости удельной работы от величины вылета молотка (рис.3 и 4) для случая:

$$\rho = 76 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, E = 9 \cdot 10^9 \text{ Па} [5], n_{\text{МОЛ}} = 1000 \text{ мин}^{-1}, R_{\text{РУЛ}} = 0,9 \text{ м}.$$

Анализ графиков (рис. 3, 4) показывает, что затраты удельной работы измельчения с увеличением величины вылета молотка δ возрастают в экспоненциальной зависимости.

Увеличение частоты вращения рулона ведет к уменьшению удельной работы (рис. 3) в то время как увеличение радиуса ротора приводит к ее возрастанию (рис.4).

Рис. 3. График изменения удельной работы измельчения в зависимости от частоты вращения рулона и величины вылета молотка δ

Рис. 4. График изменения удельной работы измельчения в зависимости от радиуса ротора и величины вылета молотка δ

Необходимо отметить, что частота вращения рулона в меньшей степени влияет на удельную работу, чем радиус ротора. Поэтому при проектировании измельчителей рулонов с молотковыми роторами рекомендуется в первую очередь уменьшать радиус ротора.

Выводы. Полученная аналитическая зависимость (11), позволяет определить удельные энергозатраты на измельчение грубых кормов в зависимости от конструкционных и технологических параметров измельчителя.

Список литературы:

1. Булатов. С.Ю., Свистунов А.И. Анализ технологий получения кормов с высоким содержанием белков из малоценных сырьевых ресурсов и отходов производства // Вестник НГИЭИ. Сер. техн. науки. Вып.10 (29). Княгинино: НГИЭИ. 2013. С. 3–14.
2. Оболенский Н.В., Вандышева М.С. Производство органических удобрений и биотоплива из отходов промышленных животноводческих комплексов – поле для малого бизнеса // Малый бизнес в эпоху экономики знаний. М.: Научный консультант. 2014. С. 89–96.

3. URL: http://www.smsz.ru/catalog/?SECTION_ID=468

4. Кошурников Д.Н. Повышение эффективности функционирования бункерного измельчителя-раздатчика стебельных кормов путём оптимизации параметров молоткового ротора. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Киров. 2009. 20 с.

5. Лазаревич С.В. Упругие свойства стебля пшеницы. Весці Акадэміі аграрных навук рэспублікі Беларусь. 1997. №4.

© 2015, Оболенский Н.В., Вандышева М.С.,
Свистунов А.И.

*Влияние конструкционных и технологических
параметров измельчителя грубых кормов на его
удельную работу*

© 2015, Obolenskiy N.V., Vandysheva M.S.,
Svistunov A.I.

*Influence of constructional and technological
parameters of a grinder of rolls on specific work
of crushing*