

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ ВАЛЬЦОВОЙ ПЛЮЩИЛКИ ЗЕРНА

В.А. Дайнеко, канд. техн. наук, доцент, Е.М. Прищепова, аспирантка (БГАТУ)

### Аннотация

*В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований производительности и удельной энергоёмкости вальцовой плющилки зерна в зависимости от ее конструктивных и технологических параметров.*

*The results of theoretical and experimental studies of the performance and specific energy consumption of roller crushing grain depending on its design and process parameters are given in the article.*

### Введение

В современном сельскохозяйственном производстве при подготовке к скармливанию животным фуражного зерна все шире используется операция его плющения. Эта операция выполняется на соответствующем технологическом оборудовании, т. е. вальцовыми плющилками зерна. При этом экономика процесса плющения будет определяться эффективностью работы плющилки. Поэтому целью настоящей работы является анализ влияния конструктивных и технологических параметров работы плющилки на ее удельную производительность и энергоёмкость процесса измельчения.

### Основная часть

Из анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в работах [1-5], следует, что на производительность и мощность вальцовой плющилки зерна оказывают влияние средняя фактическая скорость зернового потока  $v_3$ , зазор между вальцами  $b_3$ , коэффициент трения зернового потока о вальцы  $f$  и их длина  $L$ , а также равнодействующая давления вальцов на зерновку  $F_R$ . Для проверки адекватности полученных в работах [4, 6] математических выражений проведем анализ влияния их независимых параметров на вычисляемые. Анализ выражений будем проводить для вальцов с одинаковым диаметром  $D$  и частотой вращения  $n$ .

Согласно работе [4], производительность вальцовой плющилки определяется по формуле:

$$Q = \frac{Lb_3D}{\frac{D}{v} + \frac{v - v_0}{\alpha_1 \left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)}}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса зерновки, кг;

$F$  – дополнительная внешняя сила, действующая на зерновку, Н;

$v_0$  – скорость движения зерновки до захвата ее вальцами, м/с;

$v$  – скорость движения зерновки после захвата ее вальцами, м/с;

$d_n$  – средняя толщина (диаметр) зерновки, м;

$\alpha_1$  – угол деформации зерновки, рад.

Из формулы (1) очевидно, что производительность плющилки однозначно определяется длиной вальцов  $L$  и возрастает при уменьшении составляющей знаменателя, т. е.

$$\frac{v - v_0}{\alpha_1 \left( g + \frac{F}{m} \right) \left( f \sqrt{1 - \left( \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)} \rightarrow 0, \quad (2)$$

а при равенстве 0 будет иметь максимальное значение. Для этого необходимо, чтобы возросли скорость движения зерновки  $v_0$  до ее захвата вальцами, дополнительная внешняя сила давления  $F$ , действующая на зерновку, коэффициент трения зерновки  $f$  о вальцы.

Используя выражение мощности  $P$  вальцовой плющилки, полученное в работе [6], выразим удельные энергозатраты  $q$  на плющение зерна

$$q = \frac{P}{Q} = \frac{P_{mp.c} + P_\delta + P_{mp.n}}{\eta Q}, \quad (3)$$

где  $P_{mp.c}$  – мощность трения скольжения поверхности вальцов по зерновке, Вт;

$P_\delta$  – мощность деформации зерновки, Вт;

$P_{mp.n}$  – мощность трения в опорных подшипниках вальцов, Вт;

$\eta$  – КПД привода.

Для упрощения анализа изменения удельных энергозатрат пренебрежем потерями в опорных подшипниках и в приводе, т.е. примем  $P_{mp.n}=0$ , а  $\eta=1$ .

Тогда

$$q = \frac{P_{mp.c} + P_{\delta}}{Q} = q_{mp.c} + q_{\delta} =$$

$$= \frac{\pi f (mg + F) n D}{60 \cos \alpha_1 b_3 v_3 L} + \frac{2 f F_R v_3}{b_3 v_3 L} =$$

$$= \frac{\pi f (mg + F) n D}{60 \cos \alpha_1 b_3 v_3 L} + \frac{2 f F_R}{b_3 L}, \quad (4)$$

где  $q_{mp.c}$  – удельные энергозатраты на трение скольжения зерновки, Дж/с;

$q_{\delta}$  – удельные энергозатраты на деформацию зерновки, Дж/с.

Учитывая, что равнодействующая давления вальцов  $F_R$  на зерновку согласно [6] равна

$$F_R = \frac{EL}{4d_n \cos \alpha_1} \times$$

$$\times \sqrt{(d_n \cdot \cos \alpha_1 - b_3)^4 + D^4 (\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1)^2}, \quad (5)$$

где  $E$  – модуль упругости, Н/м<sup>2</sup>,  
то

$$q = \frac{\pi f (mg + F) n D}{60 \cos \alpha_1 b_3 v_3 L} + \frac{fE}{2} \times$$

$$\times \frac{\sqrt{(d_n \cdot \cos \alpha_1 - b_3)^4 + D^4 (\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1)^2}}{d_n b_3 \cos \alpha_1} =$$

$$= \frac{f}{b_3 \cos \alpha_1} \left( \frac{\pi (mg + F) n D}{60 v_3 L} + \frac{E}{2} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{\sqrt{(d_n \cdot \cos \alpha_1 - b_3)^4 + D^4 (\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1)^2}}{d_n} \right). \quad (6)$$

При этом синусы и косинусы угла деформации зерновки  $\alpha_1$ , соответственно

$$\sin \alpha_1 = \sqrt{1 - \left( \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2}; \quad (7)$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{D + b_3}{D + d_n}. \quad (8)$$

Анализ выражения (6) показывает, что энергозатраты на трение скольжения и деформацию, несмотря на упрощения, имеют весьма сложную зависимость прямопропорционально коэффициенту трения  $f$ , частоте вращения вальцов  $n$ , дополнительной внешней силе давления  $F$ , действующей на зерновку, модулю упругости зерновки  $E$  и обратнопропорциональны скорости зернового потока  $v_3$ .

Для проверки адекватности полученных выражений была проведена их экспериментальная проверка на установке с гладкими вальцами.

Подача зерна в межвальцовое пространство осуществлялась не традиционно используемым способом,

т.е. самотеком из сужающегося к межвальцовому пространству бункера, а через симметрично установленную относительно межвальцового зазора вертикальную с прямоугольным поперечным сечением загрузочную шахту. Один из размеров вышеуказанного сечения загрузочной шахты равнялся длине вальцов, а второй – диаметру вальца. При этом поперечное сечение в нижней части шахты симметрично уменьшалось в направлении перпендикулярном осям вальцов от краев шахты к межвальцовому зазору. Шахта оборудована также сверху поршнем, обеспечивающим заданное давление на зерно, а снизу клапаном, принудительно открываемым для подачи зерна из шахты в межвальцовый зазор при эксперименте. Для электропривода плющилки использовался асинхронный двигатель с преобразователем частоты питающего напряжения. Эксперимент проводился в следующей последовательности. В загрузочную шахту под поршень загружалась определенная порция зерна, преобразователем частоты устанавливалась необходимая частота вращения вальцов. Затем открывался клапан для подачи зерна в межвальцовое пространство, при этом измерялась мощность, затрачиваемая на плющение и время с момента открытия клапана до окончания процесса плющения. При эксперименте изменялась частота вращения вальцов  $n$ , межвальцовый зазор  $b_3$ , сила давления на поршень, соответственно, и на зерно  $F$ , а также ширина  $b_{ш}$  в нижней части шахты в направлении, перпендикулярном осям вальцов.

Результаты проведенного эксперимента представлены на рис. 1...6.

Анализируя экспериментально полученные графические зависимости очевидно, что

- удельная производительность плющилки независимо от частоты вращения возрастает при увеличении силы давления на зерно  $F$ , а удельная энергоемкость процесса плющения при этом уменьшается (рис. 1...2);

- с уменьшением зазора между вальцами  $b_3$ , удельная производительность плющилки падает и удельная энергоемкость процесса плющения возрастает (рис. 3);

- с увеличением ширины  $b$ , загрузочной шахты удельная производительность плющилки увеличивается до определенного значения, а затем остается практически постоянной, при этом удельная энергоемкость процесса плющения уменьшается пока увеличивается производительность плющилки, а потом возрастает (рис. 4, 6);

- удельная производительность вальцовой плющилки зерна имеет максимальную производительность при определенной частоте и практически при этой же частоте – минимальную энергоемкость процесса плющения (рис. 5).

## Выводы

1. Полученные экспериментальные зависимости подтверждают правильность полученных ранее в работах [4, 6] аналитических выражений производительности и мощности вальцовой плющилки зерна.

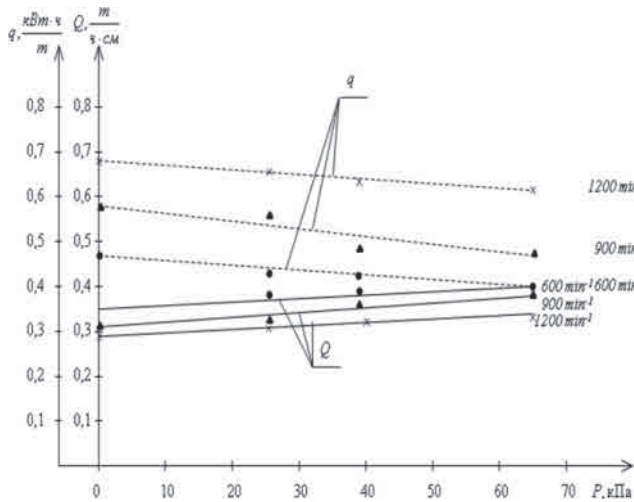


Рисунок 1. Графики изменения удельной производительности  $Q$  и энергоёмкости  $q$  плющилки для различных частот вращения валцов  $n$  при изменении давления  $P$  в загрузочной шахте ( $b_3=2$  мм,  $b_w=40$  мм)

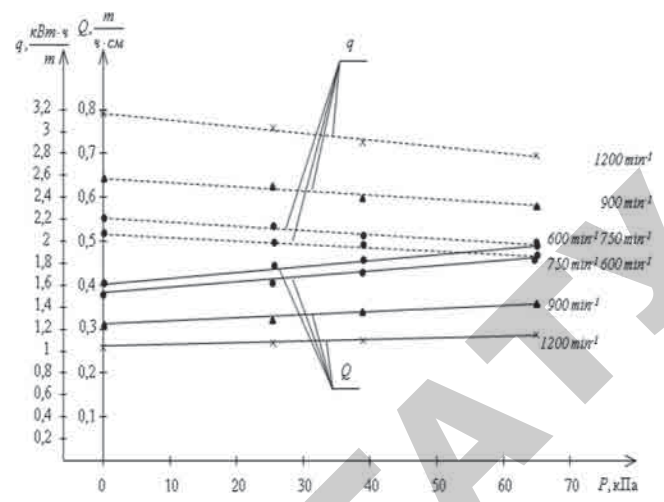


Рисунок 2. Графики изменения удельной производительности  $Q$  и энергоёмкости  $q$  плющилки для различных частот вращения валцов  $n$  при изменении давления  $P$  в загрузочной шахте ( $b_3=1$  мм,  $b_w=40$  мм)

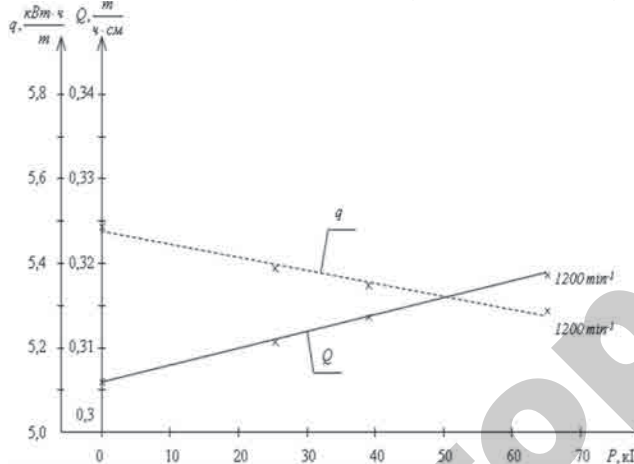


Рисунок 3. Графики изменения удельной производительности  $Q$  и энергоёмкости  $q$  плющилки для частоты вращения валцов  $n=1200$   $\text{min}^{-1}$  при изменении давления  $P$  в загрузочной шахте ( $b_3=0,5$  мм,  $b_w=40$  мм)

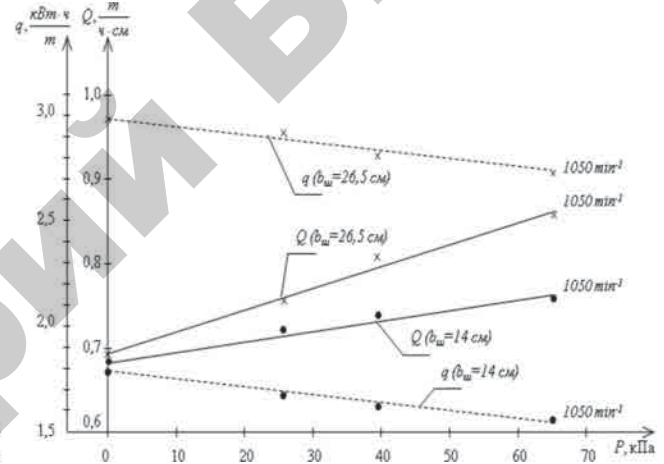


Рисунок 4. Графики изменения удельной производительности  $Q$  и энергоёмкости  $q$  плющилки для частоты вращения валцов  $n=1050$   $\text{min}^{-1}$  при изменении давления  $P$  и ширины  $b_w$  загрузочной шахты ( $b_3=1$  мм)

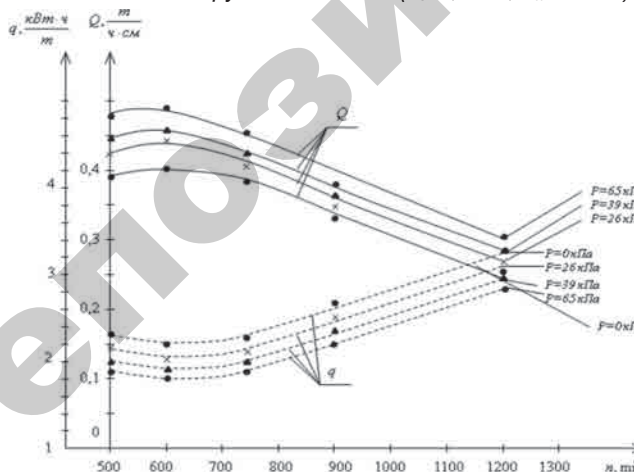


Рисунок 5. Графики изменения удельной производительности  $Q$  и энергоёмкости  $q$  вальцовой плющилки для различных давлений  $P$  в загрузочной шахте при изменении частоты вращения валцов  $n$  ( $b_3=1$  мм,  $b_w=40$  мм)

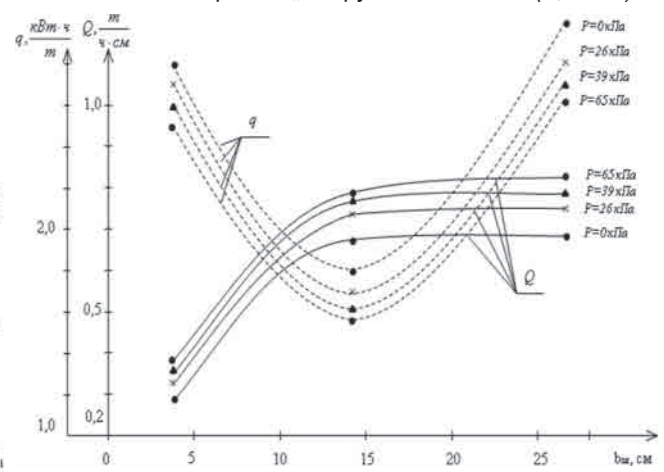


Рисунок 6. Графики изменения удельной производительности  $Q$  и энергоёмкости  $q$  плющилки для частоты вращения валцов  $n=1050$   $\text{min}^{-1}$  при изменении давления  $P$  и ширины  $b_w$  загрузочной шахты ( $b_3=1$  мм)

2. На производительность и мощность вальцовый плющилки значительное влияние оказывает сила давления на зерно, что подтверждается как теоретическими, так и экспериментальными исследованиями.

3. Экспериментальные исследования подтверждают также, что удельная энергоёмкость процесса плющения зерна зависит от частоты вращения вальцов, имеет явно выраженный минимум в зависимости от частоты вращения, и этот минимум наиболее выражен при увеличении силы давления на зерно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, Н.А. Теоретические исследования производительности вальцовый плющилки / Н.А. Воробьев // Агропанорама. – 2008. – №2. – С. 45-48.

2. Дайнеко, В.А. К вопросу снижения энергоёмкости процесса измельчения фуражного зерна / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2008. – №1. – С. 35-40.

3. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.А. Одегов. – М.: РГБ, 2005. – 187 с.

4. Дайнеко, В.А. Теоретическое обоснование производительности вальцовый плющилки-измельчителя / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2012. – №2. – С. 14-28.

5. Баранов, Л.Н. Повышение эффективности производства плющеного зерна путем совершенствования технологий и комплекса технических средств: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Л.Н. Баранов; Сев. Западн. научн.-исслед. ин-т механиз. и электриф. сельск. хоз-ва. – Санкт-Петербург – Павловск, 2005. – 18 с.

6. Дайнеко, В.А. Теоретическое обоснование мощности электропривода вальцовый плющилки / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова, Н.А. Воробьев // Агропанорама. – 2012. – №4. – С. 18-29.

УДК 504.53.062.4

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 3.12.2012

## ОТХОДЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ – СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОУДОБРЕНИЙ

И.С. Мельниченко, магистрант, С.А. Хорева, докт. биолог. наук, профессор (БНТУ);  
С.Л. Максимова, канд. биолог. наук (ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»)

#### Аннотация

*Приведено описание проведенного эксперимента по анализу эффективности технологии вермикомпостирования для переработки осадков сточных вод целлюлозно-бумажного производства. Полученные результаты могут найти свое практическое применение при организации вермипроизводства на базе основного производства целлюлозно-бумажных предприятий Республики Беларусь.*

*The description of the experiment on the analysis of the effectiveness of vermicomposting technology for processing sewage of pulp-and-paper production has been carried out. The received results can find their practical application at the vermiproduction organization on the basis of the main production of the pulp-and-paper enterprises of the Republic of Belarus.*

#### Введение

В Республике Беларусь уделяется большое внимание развитию целлюлозно-бумажной промышленности. В стране функционирует более 10 профильных предприятий, на которых производятся массовые и специальные виды бумаги и картона. К ведущим предприятиям отрасли в республике относятся: ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат», ОАО «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда», ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин», ОАО «Бумажная фабрика «Красная Звезда», УП «Бумажная фабрика «Гознак», ОАО «Бумажная фабрика «Спартак», РПУП «Завод газетной бумаги» и другие. Однако функционирование целлюлозно-бумажной промышленности осложнено рядом эколо-

гических проблем, одна из которых связана с образованием многотоннажного отхода – осадка сточных вод, который складывается вблизи очистных сооружений, вывозится в карьеры, овраги, шламонакопители. Данный способ имеет естественные ограничения по общему объему складываемого осадка и предполагает изъятие из оборота больших участков ценных земельных угодий. Физические методы переработки осадков сточных вод связаны с выделением веществ, наиболее вредными из которых считаются оксиды серы, оксиды азота, оксиды углерода, хлористый водород, фтористый водород, тяжелые металлы в водорастворимой форме. Химические методы переработки осадков сточных вод несовершенны и в большинстве случаев повышают вредное воздействие этих отходов на окружающую среду.