

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Давид Райхман, Александр Симонов

Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет»

г. Симферополь, п.Аграрное, ЮФ НУБиП Украины «КАТУ», rectorat@csau.crimea-ua.com.

**Аннотация.** Приведено описание роторно-центробежной мельницы с подачей зерна через кольцевую щель, соосную ротору. Исследовано влияние параметров загрузочного патрубка и заслонки на подачу зерна. Введено понятие удельной подачи зерна через единицу площади кольцевой щели.

**Ключевые слова.** Роторная мельница, патрубок, заслонка, кольцевая щель, подача.

### ВВЕДЕНИЕ

Основными элементами разрабатываемой роторно-центробежной мельницы [10;11;12] являются (рис.1) ротор 1 с лопатками 2, камера измельчения 11 с мишенями 3, фланцевый электродвигатель 13. Ротор установлен сверху на вертикальном валу электродвигателя. Днище 12 камеры измельчения закреплено на фланце электродвигателя, что обеспечивает соосность ротора и камеры измельчения. Мишени располагаются по всей окружности внутренней поверхности боковины камеры. Крышка 4 камеры измельчения выполнена съемной. В центре крышки располагается загрузочный цилиндрический патрубок 5, к которому сверху примыкает конусная воронка-бункер 6 для зерна. Над патрубком сверху располагается круглая заслонка 8, закрепленная на валике 9 с резьбой. Положение заслонки

регулируется при вращении валика рукояткой 10 во втулке, закрепленной перемичками 7 в бункере. Вначале заслонкой закрывают патрубок, засыпают зерно в бункер, включают электродвигатель и перемещают заслонку вверх. Между заслонкой и патрубком образуется кольцевая щель, через которую зерно поступает в камеру измельчения, попадает под многократные удары лопаток и по мишеням, измельчается и выбрасывается через окно в тангенциальном направлении. При равномерном поступлении зерна на все мишени обеспечиваются оптимальные условия для работы мельницы. В этом случае все мишени нагружены равномерно. Соосная ротору кольцевую щель обеспечивает равномерную подачу зерна в зону измельчения. Задача состоит в обосновании основных параметров загрузочного устройства – диаметров патрубка и заслонки, высоты подъема заслонки.

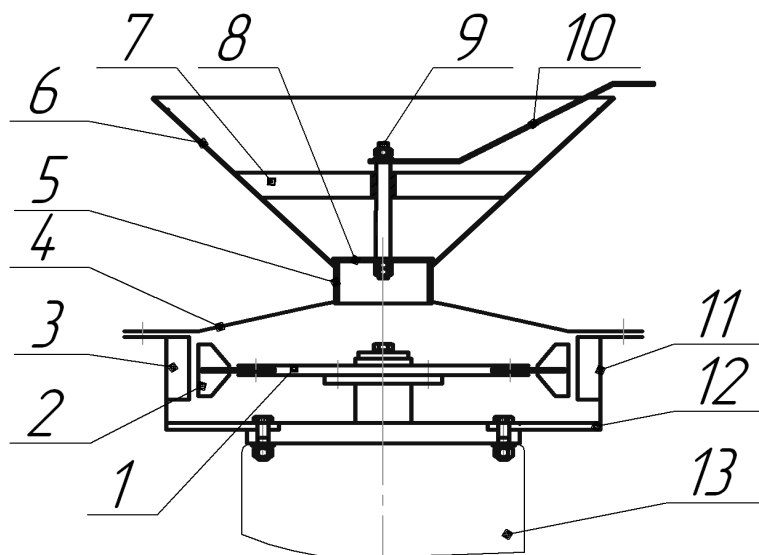


Рис. 1. Схема роторно-центробежной мельницы. Обозначения в тексте.

Fig.1. The scheme of the rotary-centrifugal mill. The notation in the text.

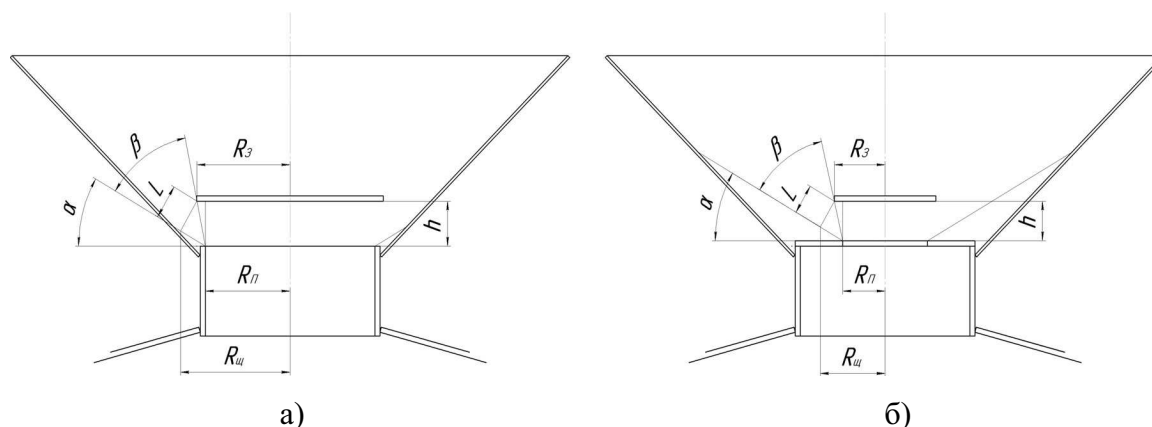


Рис. 2. Расчётные схемы загрузочного устройства: а – без кольца; б – с промежуточным кольцом.  
Fig. 2. Payment schemes boot device: a - without ring; b - with intermediate ring.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Рассмотрим условия движения зерна через кольцевую щель. Подача зерна (производительность) зависит от площади кольцевой щели и скорости движения в ней зерна. Диаметр заслонки превышает диаметр патрубка, кроме того, патрубок входит внутрь бункера (рис.2,а). В этом случае минимальная площадь щели равна:

$$F = \pi L (R_z + R_{из}), \quad (1)$$

где L – длина образующей минимальной конусной поверхности кольцевой щели;

$$L = \sqrt{h^2 + (R_z - R_n)^2} \sin \beta \quad (2)$$

h – высота подъема заслонки над патрубком;

$R_z$  – радиус заслонки;

$R_n$  – внутренний радиус патрубка;

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha - \arctg (R_z - R_n) / h$$

$\alpha$  – угол естественного откоса зерна;

$$R_{из} = R_n + \sqrt{h^2 + (R_z - R_n)^2} \cos \alpha \cos \beta.$$

В случае применения промежуточного кольца над патрубком (рис. 2,б) для вычисления площади щели применяется также формула (1) с заменой радиуса  $R_n$  на радиус отверстия в кольце. Длина образующей L (или ширина щели) зависит от управляемых факторов - высоты подъема заслонки и от разности радиусов заслонки и патрубка. Ширина щели не может быть сколь угодно малой, так как при недостаточной ее величине возникают устойчивые своды, и истечение зерна прекращается. Минимальная допустимая ширина щели зависит от размеров зерен. По рекомендации Л.В. Гячева [3] ширина

щели должна быть не менее пяти диаметров зерна. При эквивалентных диаметрах зерен

пшеницы 4 мм, ячменя 5.75 мм ширина щели должна быть не менее 20-29 мм. В другой работе [2] предельный диаметр сводообразующего отверстия для хорошо сыпучих грузов (к каким можно отнести зерна пшеницы и ячменя) предлагается определять по формуле:

$$d_{нф} = A e^{b a}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где A и b – постоянные (A=4,64; b=0,244);

a – наибольший размер средней частицы груза, мм.

Для предлагаемой формулы выбрать значение a проблематично, так как в ее характеристике имеется противоречие. Если принять a равным эквивалентным диаметрам зерен, то получим для пшеницы  $d_{нф} = 12$  мм, для ячменя 18,9 мм. Неоднозначность рекомендаций, полученных при разных условиях экспериментов, приводит к необходимости определения минимальной ширины щели на основе собственных исследований. В формулах для вычисления скорости высыпания сыпучих грузов из отверстий бункера, предложенных на основе теоретических предпосылок, используются экспериментальные коэффициенты. В связи с чем, воспользуемся экспериментальными зависимостями. Наиболее приемлемой считаем формулу, предложенную И.Е. Кожуховским и Г.Т. Павловским [5]:

$$V = C \sqrt{R_z}, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где C – постоянная, равная для крупнозернистого материала C=1,65...2,75;

$R_z$  – гидравлический радиус выпускного отверстия (м), представляющий собой отношение площади отверстия к его периметру.

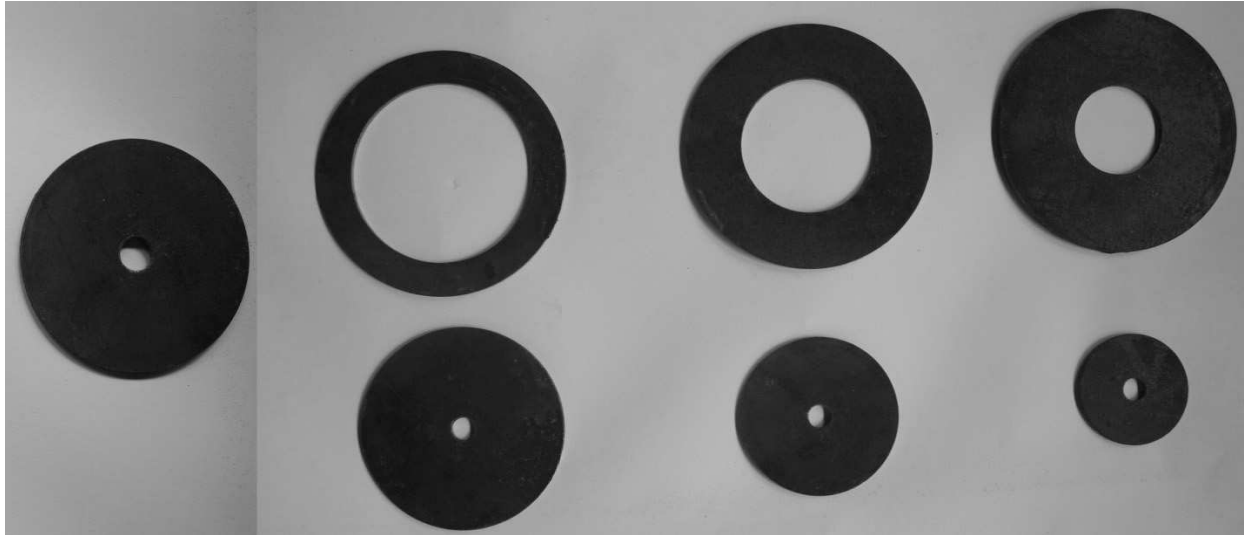


Рис. 3. Заслонки и промежуточные кольца.

Fig. 3. Flap and intermediate rings.

Формула (3) предложена для горизонтально расположенного отверстия, при высыпании зерна в боковую щель по углу  $\alpha$  естественного откоса введем уточнение

$$V = C \sin \alpha \sqrt{R_z}, \text{ м/с}, \quad (5)$$

$$\text{где } R_z = \frac{\pi L (R_z + R_{щ})}{2\pi R_z + 2\pi R_{щ}} = \frac{L}{2} \quad (6)$$

Исследования проводились на снятой верхней крышке мельницы с загрузочным бункером. Исследовался загрузочный патрубок с внутренним диаметром 100 мм и заслонкой диаметром 110 мм (рис. 2 а), а также с промежуточными кольцами с отверстиями в кольце  $\varnothing 80$  мм, (заслонка  $\varnothing 90$  мм),  $\varnothing 60$  мм (заслонка  $\varnothing 70$  мм),  $\varnothing 40$  мм (заслонка  $\varnothing 50$  мм) (рис. 2, 3). Исследования проводились на основных фуражных культурах – пшенице с объемной массой  $\gamma = 750$  кг/м<sup>3</sup>, ячменем  $\gamma = 600$  кг/м<sup>3</sup>. Влажность зерна составляла 10-11%. Минимальная высота подъема заслонки принята  $h = 15$  мм, так как при меньшем подъеме заслонки подача зерна через кольцевую щель была нестабильной. При угле естественного откоса  $\alpha = 30^\circ$  и принятой разнице радиусов заслонки и патрубка 5 мм по формуле (2) находим минимальную длину щели  $L = 10,5$  мм, что аналогично данным статьи [14]. Высота  $h$  изменялась в диапазоне от 15 до 35 мм с шагом 5 мм. В каждом варианте загрузочного устройства опыты проводились в трех повторностях. Время прохода зерна замерялось секундомером, масса навески зерна (5 кг) взвешивалась до засыпки в бункер на лабораторных весах марки AXIS A5000 с точностью 0,1 гр. Результаты опытов представлены зависимостями (7;8) и графиками рис. 4. Для обработки экспериментальных данных

использовалась надстройка «Анализ данных» в программе Microsoft Excel [1,4,6]. При аппроксимации данных принято, что зависимость подачи  $Q$  (кг/ч) от диаметра патрубка  $D$  (мм) линейная (так как диаметр определяет, по сути, только длину щели) и степенная от высоты подъема заслонки  $h$  (мм). Уравнение для пшеницы имеет вид:

$$Q = 0,002 h^{2,78} D \quad (7)$$

для ячменя:

$$Q = 0,00011 h^{3,47} D \quad (8)$$

Для оценки качества полученных моделей использованы коэффициенты детерминации  $R^2$  и критерий Фишера  $F$ . Для пшеницы  $R^2 = 0,98$ ;  $F = 416$ , для ячменя  $R^2 = 0,97$ ;  $F = 275$ . Значения  $R^2$  достаточно близки к единице, а критерии Фишера значительно больше критических. Таким образом, полученные уравнения позволяют прогнозировать значения производительности загрузочного устройства в исследованном диапазоне факторов [7,8,9,13].

Результаты опытов позволяют вычислить удельную подачу зерна  $q$  ( $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ ), то есть подачу зерна на единицу площади минимальной кольцевой щели (так как от диаметра патрубка этот показатель не зависит), а также скорость движения зерна  $V_{щ}$  (м/с) в той же минимальной кольцевой щели:

$$q = \frac{Q}{3600 \pi L (R_{щ} + R_z)}; \quad (9)$$

$$V_{щ} = \frac{Q}{3600 \gamma \pi L (R_{щ} + R_z)}; \quad (10)$$

где  $Q$  – подача, кг/ч;  $L$  – длина образующей щели, мм;  $R_{щ}; R_z$  – радиусы щели и заслонки, мм;  $\gamma$  – объемная масса зерна, кг/м<sup>3</sup>.

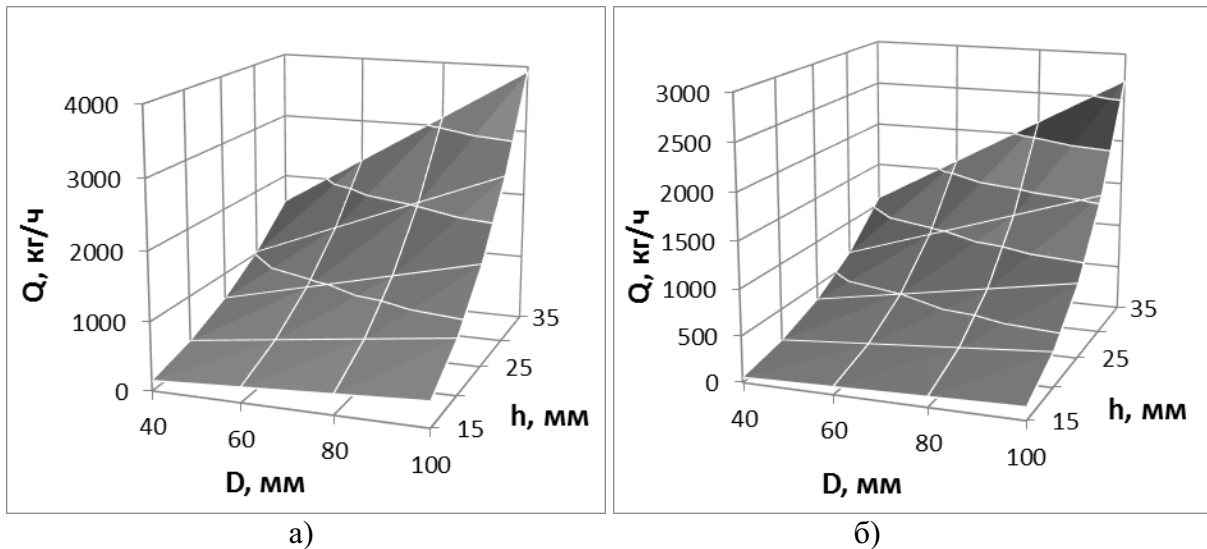


Рис. 4. Зависимость производительности Q от диаметра патрубка d и высоты поднятия заслонки h: а - пшеница; б - ячмень.

Fig.4. Dependence of the performance of the nozzle diameter and the height of lifting flaps: а – wheat; б – barley.

Результаты расчетов представлены графиками (рис. 5;6) и зависимостями для пшеницы:

$$q = 0,2366 \ln(h) - 0,5766; \quad R^2 = 0,9902 \quad (11)$$

$$V_{\Phi} = 0,0755 \ln(h) - 0,1762; \quad R^2 = 0,9745 \quad (12)$$

для ячменя:

$$q = 0,2081 \ln(h) - 0,5413; \quad R^2 = 0,9977 \quad (13)$$

$$V_{\Phi} = 0,0873 \ln(h) - 0,2225; \quad R^2 = 0,9947 \quad (14)$$

по формуле (5)

$$V = 0,0018 h + 0,0336; \quad R^2 = 0,9944 \quad (15)$$

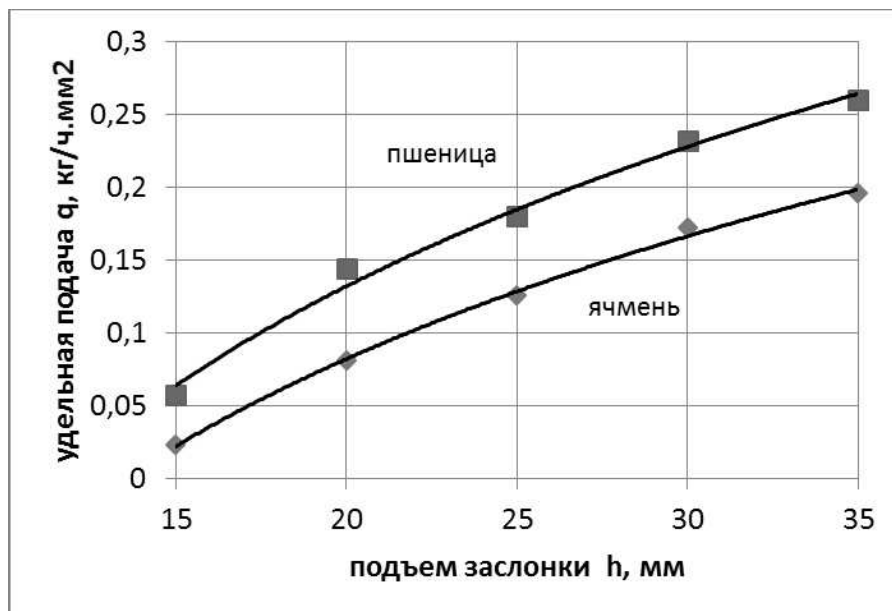


Рис. 5. Зависимость удельной подачи от высоты подъема заслонки.

Fig. 5. Dependence of the specific supply of valve lift height.

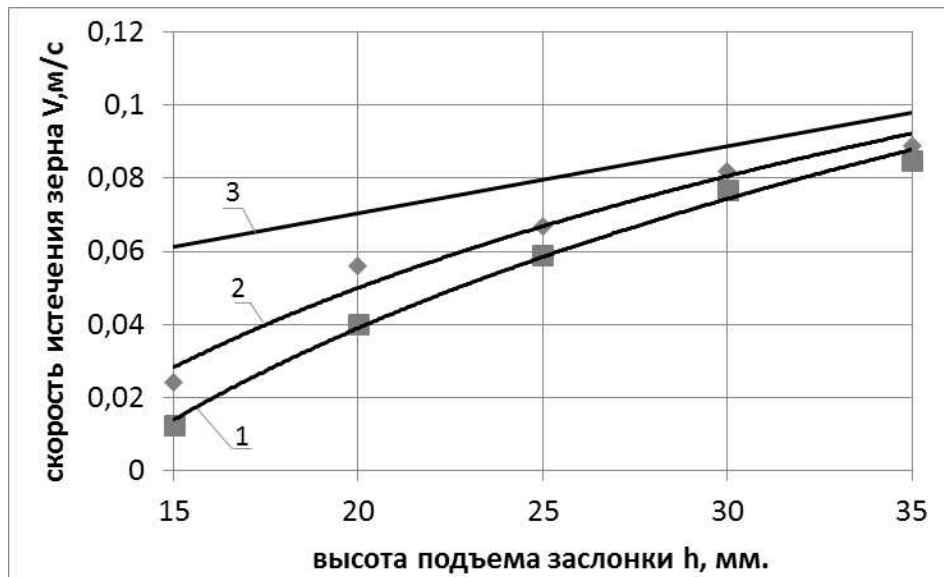


Рис. 6. Зависимости скорости истечения зерна  $V$  из кольцевой щели от высоты подъема заслонки  $h$ : 1 – для ячменя; 2 – для пшеницы; 3 – по формуле (5).

Fig. 6. Depending on the velocity of the grain from the annular gap on the valve lift height: 1 - for barley, 2 - for wheat, 3 - by the formula (5).

По графикам видно, что удельная подача увеличивается с увеличением высоты щели в исследованном диапазоне. Можно предположить, что при дальнейшем увеличении высоты  $h$  значение  $q$  достигнет постоянного максимального значения, равного подаче зерна при отсутствии заслонки. Чем меньше диаметр заслонки, тем быстрее наступит предельная подача. Фактическая скорость движения зерна в минимальной щели меньше вычисленной по формуле (5), но с увеличением высоты  $h$  значения скоростей сближаются. Несовпадение скоростей объясняется тем, что экспериментальный коэффициент  $C$  в формуле (5) определен для больших отверстий, чем в наших опытах. Совпадение скоростей можно получить, уточнив значение коэф.  $C$  (например,  $C=0,6...1,5$ ).

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют выбрать диаметры патрубка и заслонки, высоту подъема заслонки в зависимости от размеров зерна и расчетной производительности мельницы. Вместе с тем, надо учесть, что загрузочное устройство исследовалось при свободном истечении зерна. При работе мельницы неизбежна вибрация, передающаяся на загрузочное устройство, что способствует увеличению подачи зерна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гербер Ю., Гаврилов О., 2009. Оптиміальні режими подрібнення кісточкових плодів у

роторній дробарці. – Motrol. Motorization and power industry in agriculture. Simferopol - Lublin, Vol. 11., P. 66 – 72.  
 2. Горюшинский И.В., 2003. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах. Самара: СамГАПС, 232 с.  
 3. Гячев Л.В., 1986. Основы теории бункеров и силосов. — Барнаул, 84 с.  
 4. Ерошин Сергей, Голубенко Александр. 2008. Concept of developing machines and devices with the direct rotation of rotor without mechanical supports. Концепция разработки машин и устройств с прямым вращением ротора без механических опор. - Motrol. Motorization and power industry in agriculture. - Simferopol - Lublin. - Vol. 10A. – P. 37 - 47.  
 5. Кожуховский И.Е., Павловский Г.Т., 1968. Механизация очистки и сушки зерна. — М.: Колос, 439 с.  
 6. Корохов В., Бурова И., 2010. Особенности конструкций и расчет мощности энергосберегающих дробилок для минерального и органического сырья. – Motrol. Motorization and power industry in agriculture. Simferopol - Lublin, Vol. 12D, P. 86 - 95.  
 7. Лещинський О.Л., Рязанцева В.В., Юнькова О.О., 2003. Економетрія: Навч. посібник для вищ. наук. закладів. – К: МАУП, 207 с.  
 8. Макарова Н. В., Трофимец В. Я., 2002. Статистика в Excel: Учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 368 с.  
 9. Менчер Э.М., Земшман А.Я., 1986. Основы планирования эксперимента. — Кишинев: Штиинца, 240 с.

10. Райхман Д.Б., Симонов А.В., 2011. К вопросу выгрузки продуктов измельчения из мельницы с вертикальной осью вращения ротора. – Научные труды ЮФ НУБиП Украины «КАТУ». – Серия «Технические науки», выпуск 138, с. 109-113.
11. Райхман Д.Б., Симонов А.В., 2011. Роторная мельница. - Патент Украины №65358. Бюл. №23.
12. Райхман Д.Б., Симонов А.В., 2012. Роторная мельница. - Патент Украины №68660. Бюл. №7.
13. Степнов. М.Н., 1985. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 232 с.
14. Стибель І.В., Тимошенко С.П., Муляр В.О., 1993. Дослідження процесу дозування насіння дозатором проточно-кільцевого типу. — Міжвідомчий тематичний науково-технічний збірник. Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 78. С. 3-8.

MAKING PARAMETERS BOOD DEVICE  
ROTOR-CENTRIFUGAL MILL FOR FEED  
GRAIN

**Summary.** The description of the rotary-centrifugal mill with feed grains through the annular gap, coaxial rotor. The effect of the boot fitting and valves to supply grain. Introduced the concept of the specific feed grains per unit area of the annular gap.

**Keywords.** Rotor mills, pipe, valve, ring slit, pitch.