

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.333

**В.В. Садов, С.А. Сорокин**  
V.V. Sadov, S.A. Sorokin

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ СХОДЕ С ЛОПАТОК РАЗЛИЧНОЙ КРИВИЗНЫ

### RESEARCH OF MOTION TRAJECTORY OF GRAIN MATERIAL WHEN COMING OFF BLADES OF VARIOUS CURVITY

**Ключевые слова:** траектория движения, измельчение зерновых компонентов, разгонный диск, геометрия лопатки, скорость частицы.

Повышение эффективности многих технологических процессов в сельском хозяйстве связано со скоростью движения материала. В данном случае рассмотрено движение материала по вращающемуся диску в молотковой дробилке. Многие устройства имеют вращающиеся диски с прямолинейными и криволинейными лопатками. Как правильно выбрать лопатку с максимальной скоростью материала при сходе, остается вопросом. В качестве криволинейной формы была выбрана лопатка центробежного насоса. На основании имеющейся кривизны лопатки получено уравнение регрессии при помощи экспоненциальной аппроксимации. По построенной 3D-модели был изготовлен разгонный диск закрытый плоским диском для направленного движения материала при сходе с диска и четкой картины его дальнейшего движения. Диск одновременно имеет лопатки прямолинейные,

направленные в сторону вращения и против вращения. Эксперимент проводился по параметрам, соответствующим молотковой дробилке, а именно, частоте вращения и диаметру диска. Полученные траектории движения материала позволяют судить о влиянии кривизны лопатки на скорость частиц и, соответственно, на удаление материала от диска. Для различных зерновых материалов траектории движения аналогичны для каждой лопатки. Взяв за основу кадр видеосъемки, можно с уверенностью судить о направлении абсолютной скорости частиц по оставленному следу. Выявленная траектория движения частиц с лопаток различной кривизны позволяет констатировать, что более оптимальной является прямолинейная лопатка, позволяющая получить значительную скорость схода и максимальный разлет частиц. Полученные экспериментальные данные о траектории движения позволяют определить скорость частицы и использовать эти результаты в различных центробежных и молотковых дробилках и других устройствах для направленного движения материала.

**Keywords:** *motion trajectory, grinding of grain components, accelerating disk, blade geometry, particle velocity.*

Improving the efficiency of many technological processes in agriculture is associated with the speed of movement of the material. In this case, the movement of material along a rotating disk in a hammer mill is considered. Many devices have rotating discs with straight and curved blades. However, how to choose the right blade with the maximum material speed during the gathering remains a question. As a curved shape, a centrifugal pump blade was chosen. Based on the existing curvature of the blade, the regression equation using exponential approximation is obtained. According to the constructed 3D model, an accelerating disk was closed with a flat disk for directional movement of the material when leaving the disk and a clear picture of its further movement. Simultaneously, the disk has straight blades directed to rotation direction and against rotation. The experiment was carried

out according to the parameters corresponding to the hammer mill, namely the rotational speed and diameter of the disk. The obtained trajectories of the material movement allow judging on the influence of the curvature of the blade on the particle velocity and, accordingly, on the removal of material from the disk. For different grain materials, the paths of movement are similar for each blade. Taking the video frame as the basis, we can confidently judge on the direction of the absolute particle velocity along the trail left. The revealed trajectory of the movement of particles from the blades of various curvatures allows stating that a rectilinear blade is more optimal, which allows obtaining a significant vanishing speed and maximum dispersion of particles. The obtained experimental data on the trajectory of motion make it possible to determine the particle velocity and use these results in various centrifugal and hammer crushers and other devices for the directed movement of material.

**Садов Виктор Викторович**, д.т.н., зав. каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-32-72. E-mail: sadov.80@mail.ru.

**Сорокин Сергей Анатольевич**, к.т.н., доцент каф. математики, механики и инженерной графики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-64. E-mail: sorokin\_sg@mail.ru.

**Sadov Viktor Viktorovich**, Dr. Tech. Sci., Head, Chair of Agricultural Production and Processing Mechanization, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-32-72. E-mail: sadov.80@mail.ru.

**Sorokin Sergey Anatolyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-64. E-mail: Sorokin\_sg@mail.ru.

## Введение

Зерновые материалы, минеральные удобрения и другие сыпучие материалы при выполнении технологических операций часто разбрасывают вращающим диском с лопатками [1-3]. Наиболее часто в этих случаях используются прямолинейные лопатки, что обусловлено простотой изготовления, установленные радиально или под углом. В центробежных насосах и вентиляторах используют криволинейные лопатки с изгибом в сторону вращения и против вращения диска [4]. Несмотря на это основным критерием оптимизации во всех устройствах чаще всего выступает скорость движения материала при сходе с лопатки. Она будет зависеть от физико-механических свойств материала, конструктивных и технологических параметров устройства.

**Цель** исследования – определение вида лопатки, влияющей на создание максимальной скорости частицы при сходе с нее.

## Объекты и методы исследований

Данная проблема возникла при изучении молотковой дробилки с вертикальным валом ротора

и разгонным диском, на который подается зерновой материал и после разгона ударяется о деку.

Известно, что при движении частицы по лопатке вращающего диска образует сложное движение: первое – вращательное вместе с диском и второе – перемещение по поверхности лопатки. Результирующая скорость вылета частицы с диска определяется направлением двух векторов, записанных в уравнении:

$$\vec{v}^{abc} = \vec{v}_{окр}^e + \vec{v}_{лоп}^r$$

где  $\vec{v}_{лоп}^r$  – относительная скорость движения по диску;

$\vec{v}_{окр}^e$  – переносная скорость движения диском.

Возможны 3 основных варианта направления лопаток (рис. 1) с различной кривизной.

Как видно из рисунка 1, геометрия и направление лопатки влияют на абсолютную скорость и направление частицы. Однако, как было выявлено ранее [5], большое значение на частицу при свободном полете будет оказывать воздушный поток. При исследовании закономерностей движения материала были учтены рекомендации [6, 7].

Для экспериментального исследования за основу криволинейной лопатки была взята геометрия лопаток центробежных насосов (рис. 2) [4].

Для одновременной проверки движения частиц с различных лопастей на одном диске выполнили 3 варианта расположения лопаток: радиальные, криволинейные с изгибом в сторону вращения и

против вращения. За основу криволинейной формы была взята лопатка насоса ЦНС-300. На основании имеющейся кривизны лопатки получено уравнение регрессии при помощи экспоненциальной аппроксимации (рис. 3). Величина достоверности аппроксимации 99%.

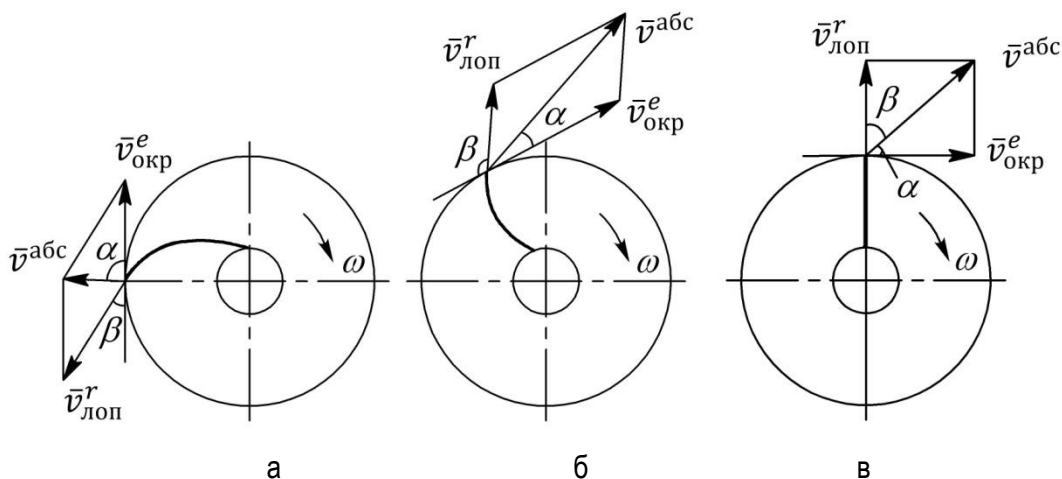


Рис. 1. Виды расположения лопаток: а – против вращения; б – в сторону вращения; в – радиальное

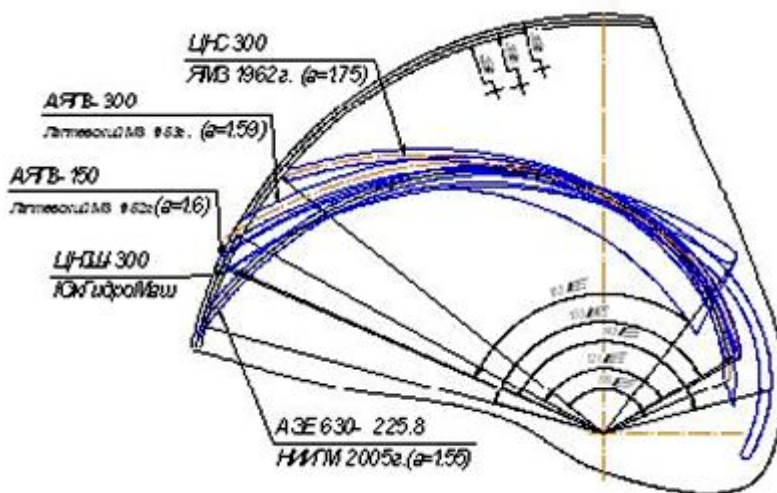


Рис. 2. Профили лопаток рабочих колес центробежных многосекционных насосов

Таблица

Параметры рабочих колес насосов

Тип, марка насоса	Напор, м	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Число оборотов	Угол разворота лопатки
ЦНС-300	60	300	1450	118°6'
АЯП 3-300(К)	59	300	1450	121°32'
АЯП 3-150	58	150	1450	118°6'
ЦНСШ-300	63	300	1450	142
АЗЕ 630-225.8	225,8	630	2970	133°24'

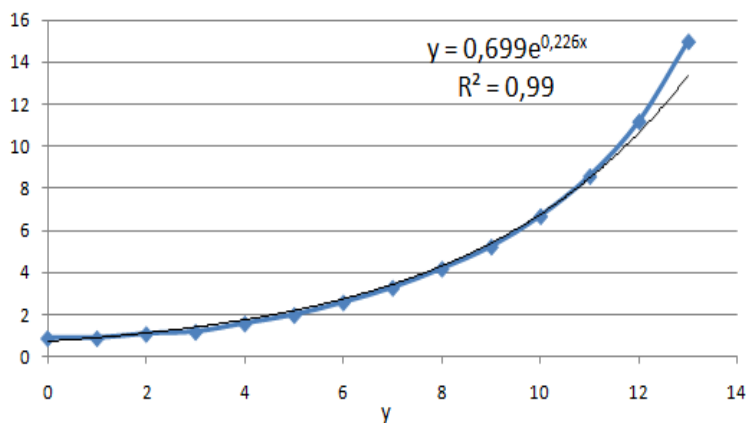


Рис. 3. Кривизна лопатки и уравнение аппроксимации

По полученным данным были построены криволинейные формы на сетке с ячейкой 1x1 см в сторону вращения и противоположную сторону (рис. 4).

Для исключения разлета частиц и более четкого представления траектории движения частиц диск с лопатками закрыли плоским диском (рис. 5).

Эксперименты проводились при частоте вращения диска 3000 об/мин. ( $314 \text{ с}^{-1}$ ) и диаметре диска 400 мм. Данные параметры соответствуют кинематическим и конструктивным параметрам молотковой дробилки с вертикальным ротором [5]. Используемые материалы – просо, ячмень, пшеница. Траектории движения частиц при сходе с диска представлены на рисунке 6.

Из рисунка 6 видно, что разлет с прямолинейной лопатки идет по большему радиусу, что говорит о большей абсолютной скорости, по сравнению с криволинейными.

Траектории движения для различных материалов аналогичны по одним лопаткам. Наложим на траектории движения материала схему скоростей (рис. 7). При этом переносная скорость диска составит  $\bar{v}_{\text{окр}}^e = 62,8 \text{ м/с}$ . В момент отрыва зерновки от диска по прямолинейной лопатки её относительная скорость равна 71 м/с и направлена радиально от центра вращения [5]. Для лопатки, направленной в сторону вращения  $\bar{v}_{\text{лоп}}^r = 53 \text{ м/с}$ , в сторону против вращения  $\bar{v}_{\text{лоп}}^r = 73 \text{ м/с}$ .

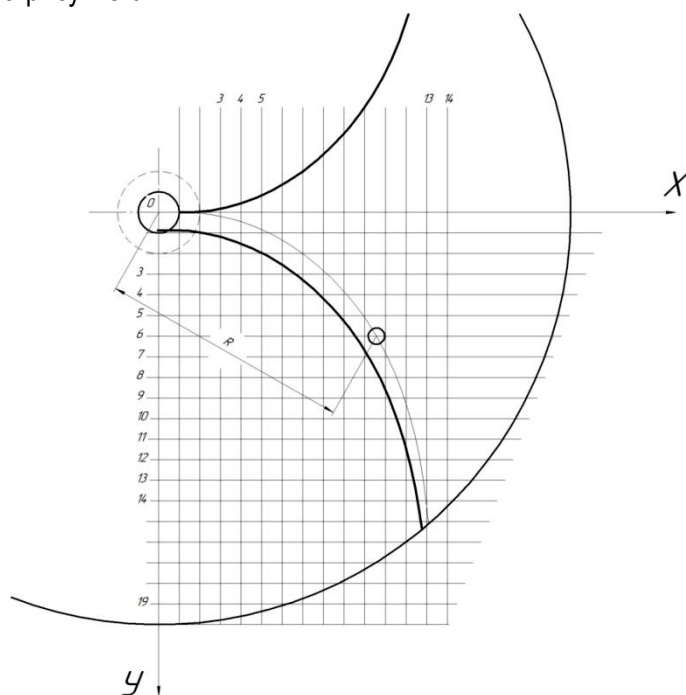
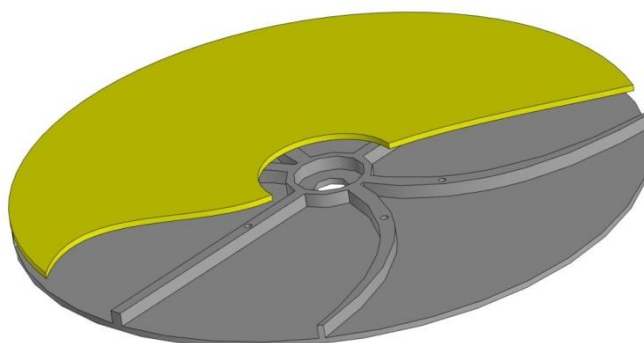
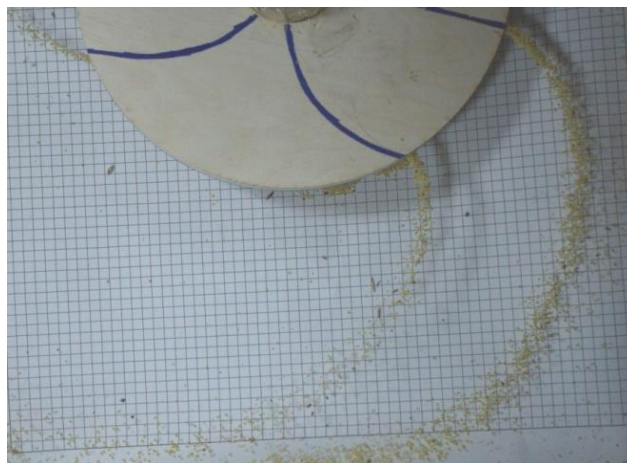
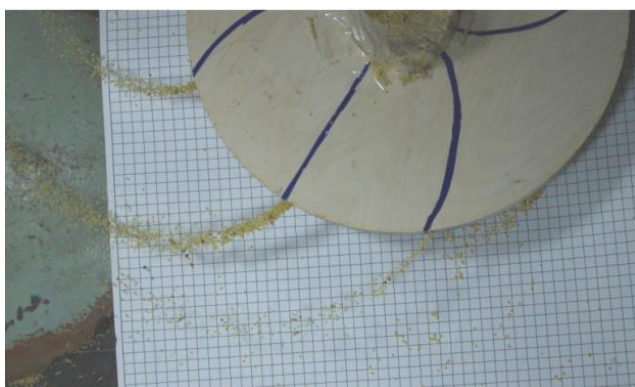


Рис. 4. Лопатки криволинейной формы

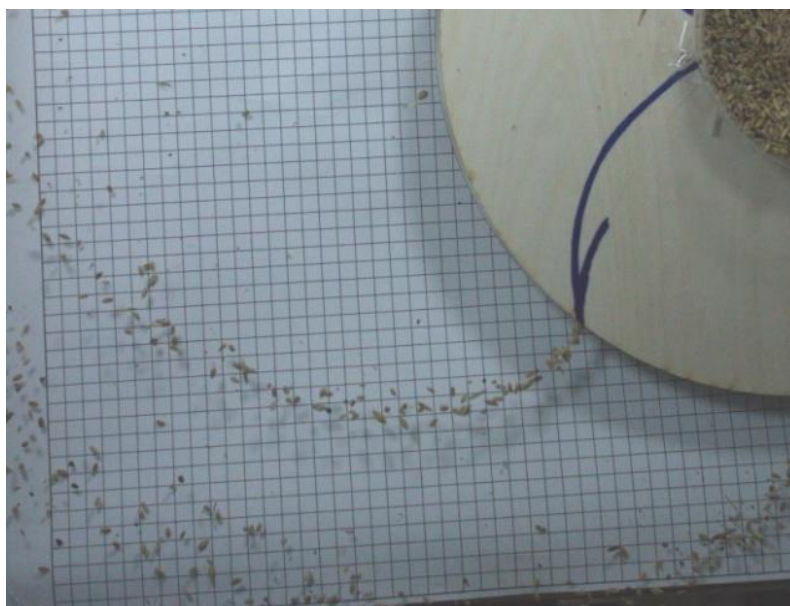




**Рис. 5. 3D-модель диска с лопатками**



а



б

**Рис. 6. Фото схода частиц с лопаток вращающегося диска:  
а – просо; б – ячмень + пшеница**

В итоге имеем максимальную абсолютную скорость частиц с лопатки, направленной в сторону вращения. Однако за счет большего сопротивления воздушному потоку разлет частиц происходит по меньшему радиусу по сравнению с прямолинейной лопаткой.

Для подтверждения траектории движения частиц по направлению абсолютной скорости соответствующей лопатки рассмотрим кадр видеосъемки (рис. 8).

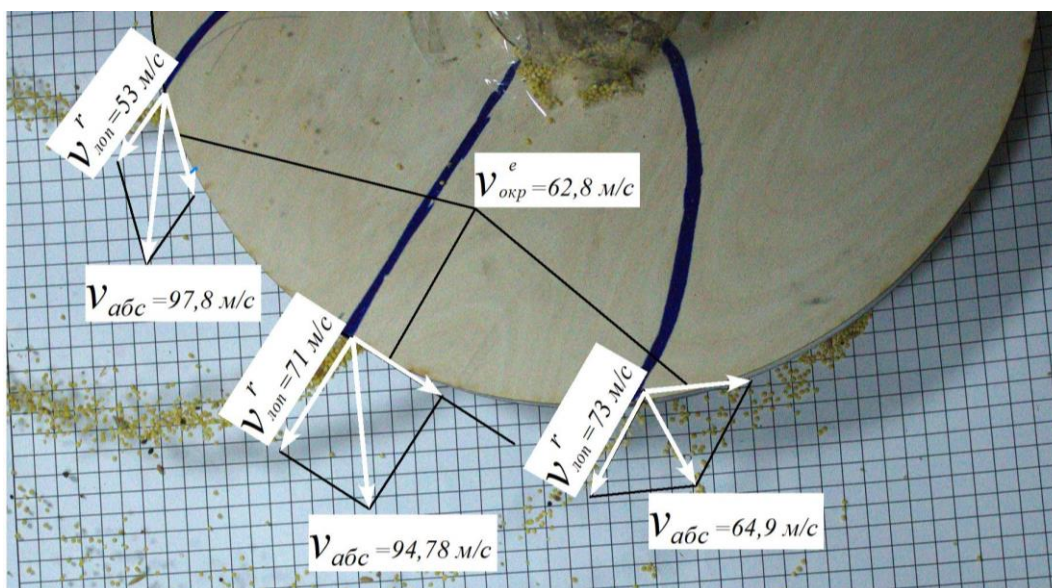


Рис. 7. Схема скоростей при сходе частиц с диска

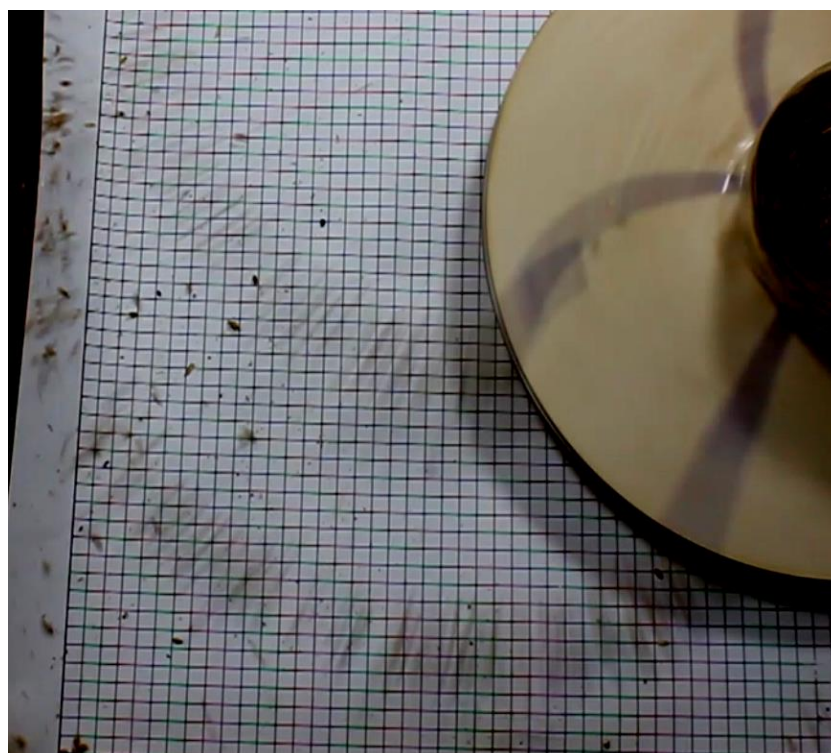


Рис. 8. Траектория движения частиц при сходе с лопаток (за  $t=0,0002$  с)

Из рисунка 8 видно, что направление частицы (след) соответствует направлению абсолютной скорости. При этом по длине следа (сетка с ячейкой 1x1 см) можно судить о скорости частицы. Для прямолинейной лопатки след 4-5 см говорит о скорости 80-100 м/с.

#### Выводы

1. Выявленная траектория движения частиц с лопаток различной кривизны позволяет констатировать, что более оптимальной является прямолинейная лопатка, позволяющая получить значи-

тельную скорость схода  $v_{абс} = 94,78$  м/с и максимальной разлет частиц. Скорость частицы с криволинейной лопатки, направленной в сторону вращений, составляет  $v_{абс} = 97,8$  м/с, а направленной в противоположную сторону –  $v_{абс} = 64,9$  м/с.

2. Полученные экспериментальные данные о траектории движения позволяют определить скорость частицы и использовать эти результаты в различных центробежных и молотковых дробил-

ках и других устройствах для направленного движения материала.

### Библиографический список

1. Федоренко, И. Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов / И. Я. Федоренко. – М.: Форум, 2015. – 176 с. – Текст: непосредственный.
2. Садов, В.В. Обоснование параметров разгонного диска на дробилках с вертикальными валами / В. В. Садов, В. А. Садовая. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1 (51). – С. 43-46.
3. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – Москва: КолосС, 2004. – 624 с. – Текст: непосредственный.
4. Стесин, С. П. Лопастные машины и гидродинамические передачи / С. П. Стесин, Е. А. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с. – Текст: непосредственный.
5. Садов, В. В. Теоретические предпосылки обоснования разрушения зернового материала разгонным диском в молотковой дробилке / В. В. Садов, С. А. Сорокин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2 (172). – С. 156-161.
6. Перепелица, С. В. Исследование процессов, влияющих на скорость подачи измельчаемых

сыпучих тел / С. В. Перепелица. – Текст: непосредственный // Ползуновский альманах. – 2004. – № 1. – С. 159-166.

7. Гийо, Р. Проблема измельчения материалов и ее развитие / Р. Гийо. – Москва, 1964. – Текст: непосредственный.

### References

1. Fedorenko, I.Ya. Tekhnologicheskie protsessy i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov. – M.: Forum, 2015. – 176 s.
2. Sadov, V.V. Obosnovanie parametrov razgonnogo diska na drobilkakh s vertikalnymi valami / Sadov V.V., Sadovaya V.A. // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – No. 1 (51). – S. 43-46.
3. Khalanskiy, V.M. Selskokhozyaystvennye mashiny / Khalanskiy V.M., Gorbachev I.V. – M.: KolosS, 2004. – 624 s.
4. Stesin, S.P. Lopastnye mashiny i gidrodinamicheskie peredachi / S.P. Stesin, E.A. Yakovenko. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 240 s.
5. Sadov, V.V. Teoreticheskie predposylki obosnovaniya razrusheniya zernovogo materiala razgonnym diskom v molotkovoy drobilke / V.V. Sadov, S.A. Sorokin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 2 (172). – S. 156-161.
6. Perepelitsa, S.V. Issledovanie protsessov, vliyayushchikh na skorost podachi izmelchaemykh sypuchikh tel // Polzunovskiy almanakh. – 2004. – No. 1. – S. 159-166.
7. Giyo, R. Problema izmelcheniya materialov i ee razvitie. – M., 1964.



УДК 621.31

Б.С. Компанеец, С.Ф. Нефедов  
B.S. Kompaneyets, S.F. Nefedov

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ ВЫДЕЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

### ANALYSIS OF ELECTRICAL PROTECTION OPERATION BASED ON RELEASED SHORT CIRCUIT ENERGY

**Ключевые слова:** безопасность электроустановок, короткое замыкание, перегорев проводника, пожар, тепловой баланс.

**Keywords:** electrical installation safety, short circuit, wire thermal break, fire, thermal balance.