

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСА ЛОПАТОК ВЕНТИЛЯТОРА ДРОБИЛКИ ЗЕРНА

METHOD OF DETERMINING WEAR OF FAN BLADES CRUSHER GRAIN

В.В. Гоева

ГБОУ ВО Нижегородский государственный
инженерно-экономический университет, Княгинино,
Россия, v-goeva@mail.ru

V.V. Goeva

GBOU VO Nizhniy Novgorod state engineering-economic
university, Knyaginino, Russia, v-goeva@mail.ru

Главными факторами, влияющими на продуктивный потенциал животных, являются структура кормовой базы хозяйств, качество кормов и способы их скармливания. Известно, что концентраты являются важным компонентом в рационе животных и способствуют большему проявлению их продуктивного потенциала. Для измельчения зерна в животноводстве применяют дробилки с различными рабочими органами. Наибольшее распространение получили молотковые дробилки зерна. Это связано с простотой их конструкции и относительно высоким ресурсом рабочих органов. В настоящее время для сельхозпроизводителей большой интерес представляют малогабаритные комбикормовые заводы и агрегаты, в состав которых входят дробилки зерна с вентилятором.

Однако наряду с очевидными преимуществами молотковые дробилки, как с принудительной подачей материала, так и с пневматической, обладают рядом недостатков, одним из которых является повышенный износ их рабочих органов – молотков, решета, лопаток вентилятора. Наибольший интерес с точки зрения снижения износа представляют лопатки вентилятора, поскольку, изменяя их форму, можно снизить или увеличить интенсивность износа. Кроме того, они больше подвержены износу, так как весь измельченный материал проходит через них с большой скоростью, в то время как в камере измельчения количество зерна распределяется между большим числом молотков, а относительная скорость зерновок в ней снижается.

Анализ показал, что интенсивность износа рабочих поверхностей лопаток вентилятора зависит от коэффициента трения зерновки о лопатку, угла наклона лопатки к радиусу диска ротора, а наибольшее влияние на силу трения оказывает окружная скорость лопаток. Для увеличения срока службы лопаток и снижения интенсивности их износа необходимо выбрать правильную форму с минимально возможным радиусом кривизны. Предложена методика, на основании которой можно рассчитать величину износа лопаток вентилятора с учетом его аэродинамических характеристик.

Ключевые слова: вентилятор, воздушный поток, зерновка, интенсивность износа, лопатка, сила трения, функциональная зависимость.

It is scientifically proven that the main factors affecting the productive potential of the animals, are the structure of fodder farms, the quality of feed and methods of feeding. It is known that concentrated fodder are an important component in the diet of animals and contribute to a stronger manifestation of their productive potential. For grinding grain into livestock is usually used crusher with different working bodies. The most widely is spread hammer mill grain crusher. This happens due to the simplicity of their construction and relatively high resource of working bodies. Currently, for farmers are of great interest the small-sized feed factories and units, which include crusher grain with a fan.

However, along with the obvious advantages of hammer crusher, like with forced feeding of material and with pneumatic, have a number of disadvantages, one of which is the increased wear of their working bodies: hammers, screens, fan blades. The greatest interest from the point of reducing wear represent fan blades, as changing their shape, it is possible to reduce or increase the intensity of wear. In addition, they are more prone to wear, since all of the crushed material passes through them with great speed, while in the grinding chamber, the amount of grain distributed over a larger number of hammers, and the relative velocity of grains in it decreases.

The analysis showed that the intensity of wear of working surfaces of the blades of the fan depends on the coefficient of friction of grains on the blade, the angle of the blade to the radius of the rotor disc, and the greatest influence on friction force has a peripheral speed of the blades. To increase the service life of the blades and reduce the intensity of wear and tear it should be chosen the correct form of the smallest possible radius of curvature. The method is proposed on the basis of which it is possible to calculate the amount of wear of fan blades, taking into account its aerodynamic characteristics.

Keywords: fan air flow, weevil, the wear of the blade, friction force, functional dependence.

Введение

Научно доказано, что главными факторами, влияющими на продуктивный потенциал животных, являются структура кормовой базы хозяйств, качество кормов и способы их скормливания [1–3]. Известно, что концорма являются важным компонентом в рационе животных и способствуют большему проявлению их продуктивного потенциала [4, 5]. Для измельчения зерна в животноводстве применяют дробилки с различными рабочими органами [6–14]. Наибольшее распространение получили молотковые дробилки зерна. Это связано с простотой их конструкции и относительно высоким ресурсом рабочих органов. В настоящее время для сельхозпроизводителей большой интерес представляют малогабаритные комбикормовые заводы и агрегаты, в состав которых входят дробилки зерна с вентилятором [15, 16].

Однако наряду с очевидными преимуществами молотковые дробилки, как с принудительной подачей материала, так и с пневматической, обладают рядом недостатков, одним из которых является повышенный износ их рабочих органов – молотков, решета, лопаток вентилятора. Наибольший интерес с точки зрения снижения износа представляют лопатки вентилятора, поскольку, изменяя их форму, можно снизить или увеличить интенсивность износа. Кроме того, они больше подвержены износу, так как весь измельченный материал

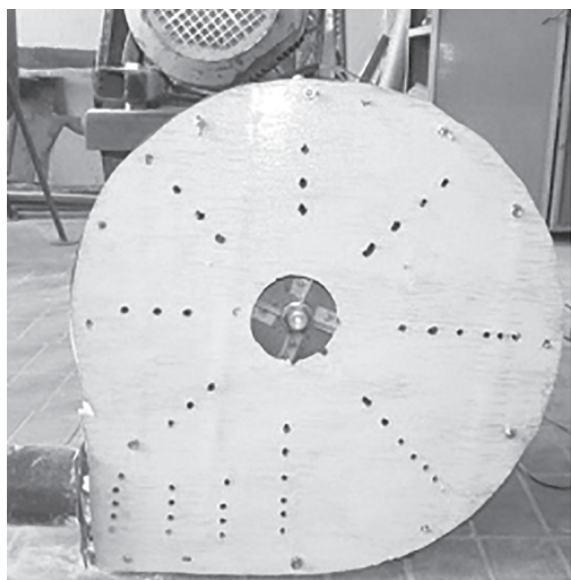
проходит через них с большой скоростью, в то время как в камере измельчения количество зерна распределяется между большим числом молотков, а относительная скорость зерновок в ней снижается.

Целью исследования является разработка методики расчета износа лопаток вентилятора с учетом его аэродинамических характеристик.

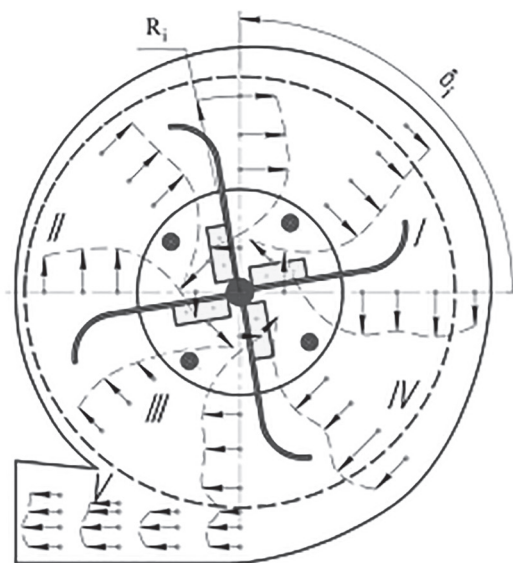
Материалы и методы

При определении величины износа лопаток вентилятора необходимо получить поле скоростей в камере вентилятора. Рассмотрим методику на примере дробилки зерна с ротором-вентилятором [15], разработанной в Нижегородском государственном инженерно-экономическом университете. Для построения поля скоростей в камере вентилятора на крышке высверливаются отверстия на одинаковом расстоянии, расположенные в радиальном положении через одинаковый угол (рис. 1). В радиальном и касательном направлениях с помощью анемометра измеряются скорости воздуха. Замеры проводят по всей глубине камеры (рис. 2) и вычисляют среднее значение. Для того чтобы при снятии замеров по глубине камеры не повредить измерительный прибор лопатками, в них делают прорезы (рис. 2).

После этого строят поле скоростей и получают функциональную зависимость.



а



б

Рис. 1. Общий вид установки для определения полей скоростей (а) и поле скоростей воздушного потока в камере дробилки с ротором-вентилятором (б)

Результаты и их обсуждение

Известно, что износ появляется в результате проявления сил нормального давления со стороны поверхности. Как показали наблюдения, наибольшее влияние на ресурс рабочих органов дробилок зерна оказывает абразивный износ рабочих поверхностей. Интенсивность износа зависит от силы трения и скорости относительного движения зерновок. Анализ сил, действующих на зерновку при ее движении по лопатке вентилятора, показывает, что сила трения складывается из нескольких составляющих: центробежной силы $F_{ц}$, силы F_m тяжести, силы F_k Кориолиса. Все перечисленные силы определяются по известным формулам:

$$F_{ц} = fm \omega_{л}^2 r \sin \psi ; \quad (1)$$

$$F_t = fm \vec{a} ; \quad (2)$$

$$F_k = 2fm \omega_{л} V_r, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения зерновки о лопатку ротора; m – масса зерновки; $\vec{a}$ – вектор ускорения частицы; $\omega_{л}$ – окружная скорость лопаток вентилятора; r – радиус кривизны лопаток; ψ – угол наклона лопатки к радиусу диска ротора; V_r – скорость относительного движения зерновки.

Из выражений (1)–(3) следует, что интенсивность износа рабочих поверхностей лопаток вентилятора зависит от коэффициента трения зерновки о лопатку, угла наклона лопатки к радиусу диска ротора, а наибольшее влияние на силу трения оказывает окружная скорость лопаток.

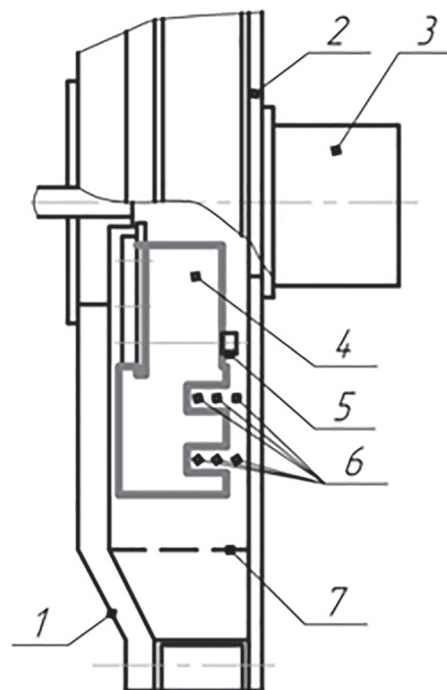


Рис. 2. Места определения скорости воздушного потока по глубине камеры: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – всасывающий патрубок; 4 – лопатка; 5 – палец; 6 – точки измерений; 7 – решето

Проанализировав формулу (1), можно заметить, что сила трения – это функция, зависящая от текущего значения радиуса r . Это значит, что и интенсивность износа лопаток вентилятора будет возрастать с увеличением радиуса кривизны. Данное утверждение хорошо доказывается проведенными наблюдениями за характером износа лопаток при измельчении зерна (рис. 3).

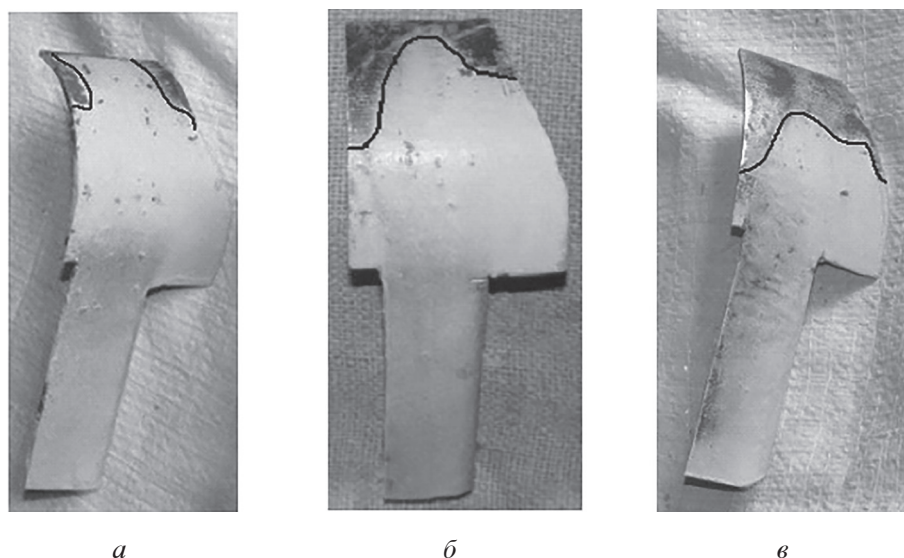


Рис. 3. Износ лопаток вентилятора с разными радиусами кривизны: а – $\rho = 40$ мм; б – $\rho = 50$ мм; в – $\rho = 60$ мм

Анализ показал, что наибольшему износу подвержена периферийная часть лопаток, и, исходя из полученного результата, можно рекомендовать с целью увеличения срока службы лопаток вентилятора их толщину увеличивать от центра к периферии либо провести упрочнение лишь тех участков, которые наиболее подвержены износу.

О.Н. Моисеев [17, 18], исследуя процесс износа молотков, вывел следующую аналитическую зависимость, позволяющую определить величину износа:

$$dy = dt \int_{x_1}^{x_2} (H_1(x, x_0) z L_1(x_0) + H_2(x, x_0) z L_2(x_0)) dx, \quad (4)$$

где x – текущая координата зерновки; x_0 – начальная координата зерновки; H_1 – давление зерновки на молоток при ударе; H_2 – давление зерновки на молоток при скольжении; $[x_1, x_2]$ – отрезок, на котором происходит взаимодействие молотка и зерновки; $L_1(x_0)$, $L_2(x_0)$ – распределение зерновок при ударе и скольжении соответственно.

Из выражения (4) следует, что помимо силы трения на величину износа влияние оказывает и распределение частиц по рабочей поверхности.

Определяя величину износа молотков, в ряде работ [17, 18] предлагается рассчитать относительную скорость частиц по выражению:

$$u = \frac{[-f_{\text{ск}} T + m \omega^2 (x + R)] 3,218 \left(\frac{m}{g}\right)^{\frac{2}{5}} [\omega_p (x + R)]^{\frac{2}{5}}}{m}, \quad (5)$$

где R – радиус подвеса молотка; $f(x)$ – форма ударной поверхности молотка; $f_{\text{ск}}$ – коэффициент трения скольжения зерновки по молотку; ω_p – угловая скорость ротора.

Однако данная формула справедлива в случае принудительной подачи зерна. В случае подачи зернового вороха за счет разрежения величину износа лопаток вентилятора необходимо рассчитывать, учитывая воздушные потоки, создаваемые вентилятором. Здесь необходимо использовать методику, примененную в работе С.Ю. Булатова, В.Н. Нечаева, П.А. Савиных [19], при решении частного случая второго закона Ньютона:

$$m \vec{W} = \vec{R} + \vec{G}, \quad (6)$$

где $\vec{R}$ – аэродинамическое сопротивление; $\vec{G}$ – вес частицы.

При решении поставленной частной задачи определяется вектор относительной скорости

зерновки. В общем случае он равен разности векторов абсолютной скорости частицы и скорости воздушного потока:

$$\vec{u}_0 = \vec{v}_0 + \vec{v}_b, \quad (7)$$

где $\vec{v}_0$ – вектор абсолютной скорости зерновки; $\vec{v}_b$ – вектор скорости воздушного потока.

Индивидуальный подход к конкретной модели дробилки зерна с вентилятором при решении поставленной задачи обеспечит точность расчетов. В этом случае необходимо построить поле скоростей воздушного потока (рис. 1, б) в камере вентилятора, которое зависит от аэродинамических характеристик вентилятора. Далее методами математического анализа или планирования эксперимента на основании полученных экспериментальных данных выводятся функциональные зависимости, характеризующие изменение касательной и нормальной составляющей скорости воздушного потока от радиуса R и угла δ (рис. 1, б):

$$v_{\text{вт}} = f(R, \delta); \quad v_{\text{вн}} = f(R, \delta), \quad (8)$$

где R – радиус замера; δ – угол замера.

Так, например, для дробилки зерна с ротором-вентилятором касательная и нормальная составляющие описываются выражениями [19]:

$$v_{\text{вт}} = 18,49 + 17,34 \cdot R + 0,12 \cdot \delta - 17,41 \cdot R^2 - 3,45 \cdot R \cdot \delta + 2,46 \cdot \delta^2; \quad (9)$$

$$v_{\text{вн}} = -0,66 + 11,48 \cdot R - 13,12 \cdot \delta - 2,7 \cdot R^2 + 6,51 \cdot R \cdot \delta + 8,07 \cdot \delta^2. \quad (10)$$

Получив необходимые зависимости и подставив их в выражение (7), рассчитывается относительная скорость зерновки, которая используется вместо предложенного выражения (5).

Таким образом рассчитывается величина износа лопаток вентилятора и принимаются меры к ее снижению.

Выводы

1. Интенсивность износа рабочих поверхностей лопаток вентилятора зависит от коэффициента трения зерновки о лопатку, угла наклона лопатки к радиусу диска ротора. При этом наибольшее влияние на силу трения оказывает окружная скорость лопаток.

2. Для увеличения срока службы лопаток и снижения интенсивности их износа необходимо выбрать правильную форму с минимально возможным радиусом кривизны.

4. Предложена методика, на основании которой можно рассчитать величину износа лопаток вентилятора с учетом его аэродинамических характеристик.

Литература

- Гагарина О.Ю., Мошкина С.В. Обзор энергетических кормовых добавок для коров в период раздоя // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3 (13). С. 258–261.
- Мошкина С.В., Гагарина О.Ю. Правильное выращивание молодняка молочного скота – залог продуктивного долголетия животных // сб.: Пути продления продуктивной жизни молочных коров на основе оптимизации разведения, технологий содержания и кормления животных. Материалы международной научно-практической конференции. 2015. С. 12–15.
- Сиянов О.О., Мошкина С.В. Влияние оптимизации кормления коров по энергии на развитие микроорганизмов в рубце // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2016. Т. 63. № 6. С. 118–122.
- Мошкина С.В., Козлов А.С. Научное обоснование кормления высокопродуктивного молочного скота // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2010. Т. 23. № 2. С. 22–24.
- Козлов А.С., Мошкина С.В., Дедкова А.А., Козлов И.А. Оптимизация структуры кормовой базы и организация полноценного кормления высокопродуктивных животных в молочном скотоводстве // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2009. Т. 17. № 2. С. 18.
- Широбоков В.И., Стукалин Ф.Г., В.А. Жигалов В.А. и др. Дробилка для фуражного зерна: пат. Рос. Федерация. № 83946 на полезную модель; опубл. 27.06.2009. Бюл. № 18.
- Хозяев И.А., Карапетян А.Г., Сасед Б.И., Шумская Н.Н. Дробилка комбикормов: пат. Рос. Федерация. № 2044564 РФ; опубл. 27.09.1995. Бюл. № 24.
- Карнов А.М., Коношин И.В. Дробильное устройство: пат. Рос. Федерация. № 2204436; опубл. 20.05.2003. Бюл. № 21.
- Зиганшин Б.Г., Волков И.Е., Хайдаров Р.Р., Фаизуллин И.Ф. Универсальный измельчитель кормов: пат. Рос. Федерация. № 2296011; опубл. 20.03.2007. Бюл. № 9.
- Сыроватка В.И., Комарчук А.С., Обухов А.Д. Установка для измельчения и сепарации фуражного зерна: пат. Рос. Федерации. № 2396122; опубл. 10.08.2010. Бюл. № 22.
- Бурлуцкий Е.М., Павлидис В.Д., М.В. Чкалова М.В. Дробилка зерна: пат. Рос. Федерация. № 2407591; опубл. 27.12.2010. Бюл. № 36.
- Сундсеев А.А., Воронин В.В., Акименко А.В., Деменьтьев С.Н. Дробилка для зерна: пат. Рос. Федерация. № 2487526; опубл. 20.07.2013. Бюл. № 20.
- Оболенский Н.В., Булатов С.Ю., Свистунов А.И. Изобретательство – путь к научному успеху. Методическое пособие / под редакцией Н.В. Оболенского. Нижний Новгород, 2016. 68 с.
- Савиных П.А., Булатов С.Ю., Мионов К.Е. Определение оптимального положения загрузочного окна дробилки зерна ударно-отражательно-го действия // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2013. Т. 8. № 4 (30). С. 76–81.
- Савиных П.А., Нечаев В.Н., Булатов С.Ю., Турубанов Н.В. Молотковая дробилка с ротором-вентилятором: пат. на полезную модель RUS 129843; 09.01.2013.
- Баранов Н.Ф., Фуфачев В.С., Сергеев А.Г. Конструкция лопаточного колеса и рабочие характеристики вентилятора дробилки // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 12. С. 30–32.
- Моисеев О.Н., Соловьев А.Н., Морисов А.Ф. Математическая модель взаимодействия молотка с зерном в молотковой дробилке / Азово-Черноморский институт механизации сельского хозяйства. Зерноград. 1995. 114 с.
- Моисеев О.Н., Полуян А.Г., Соловьев А.Н. Численное моделирование процесса изнашивания молотка в молотковой дробилке. Исследования и реализация новых технологий и технических средств в сельскохозяйственном производстве / Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИ-МЭСХ). Зерноград. 2001. С. 275–279.
- Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Савиных П.А. Разработка дробилки зерна для крестьянских хозяйств и результаты исследований по оптимизации ее конструктивно-технологических параметров. Теория, разработка, методика, эксперимент, анализ. Книгино, 2014. 154 с.

References

- Gagarina O.Yu., Moshkina S.V. Overview of energy feed additives for cows during the ripening period. Innovatsii v sel'skom khozyaystve. 2015. No 3(13), pp. 258–261 (in Russ.).
- Moshkina S.V., Gagarina O.Yu. Proper cultivation of young dairy cattle – the guarantee of productive

- longevity of animals. V sbornike: Puti prodleniya produktivnoy zhizni molochnykh korov na osnove optimizatsii razvedeniya, tekhnologii soderzhaniya i kormleniya zhivotnykh. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2015, pp. 12–15 (in Russ.).
3. Siyanov O.O., Moshkina S.V. Influence of optimization of feeding of cows on energy on development of microorganisms in rumen. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. T. 63. No 6, pp. 118–122 (in Russ.).
 4. Moshkina S.V., Kozlov A.S. Scientific substantiation of high-yielding dairy cattle feeding Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010. T. 23. No 2, pp. 22–24 (in Russ.).
 5. Kozlov A.S., Moshkina S.V., Dedkova A.A., Kozlov I.A. Optimization of the structure of the fodder base and organization of high-grade feeding of high-yielding animals in dairy cattle breeding. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009. T. 17. No 2, pp. 18.
 6. Shirobokov V.I., Stukalin F.G., V.A. Zhigalov V.A. i dr. Drobilka dlya furazhnogo zerna [Crusher for feed grain]. Patent Ros. Federatsii No 83946 na poleznuyu model'. Opubl. 27.06.2009. Byul. No 18.
 7. Khozyaev I.A., Karapetyan A.G., Saed B.I., Shumskaya N.N. Drobilka kombikormov [Crusher of mixed fodders]. Patent Ros. Federatsii No 2044564 RF. Opubl. 27.09.1995. Byul. No 24.
 8. Karnov A.M., Konoshin I.V. Drobil'noe ustroystvo [Crushing device]. Patent Ros. Federatsii No 2204436. Opubl. 20.05.2003. Byul. No 21.
 9. Ziganshin B.G., Volkov I.E., Khaydarov R.R., Faizullin I.F. Universal'nyy izmel'chitel' kormov [Universal feed cutter]. Patent Ros. Federatsii No 2296011. Opubl. 20.03.2007. Byul. No 9.
 10. Syrovatka V.I., Komarchuk A.S., Obukhov A.D. Ustanovka dlya izmel'cheniya i separatsii furazhnogo zerna [The device for grinding and separation of feed grain]. Patent Ros. Federatsii No 2396122. Opubl. 10.08.2010. Byul. No 22.
 11. Burlutskiy E.M., Pavlidis V.D., M. V. Chkalova M.V. Drobilka zerna [Crusher of grain]. Patent Ros. Federatsii No 2407591. Opubl. 27.12.2010. Byul. No 36.
 12. Sundeev A.A., Voronin V.V., Akimenko A.V., Demen't'ev S.N. Drobilka dlya zerna [Crusher for grain]. Patent Ros. Federatsii No 2487526. Opubl. 20.07.2013. Byul. No 20.
 13. Obolenskiy N.V., Bulatov S.Yu., Svistunov A.I. Izobretatel'stvo – put' k nauchnomu uspekhu [Invention – the way to scientific success]. Pod redaktsiei N.V. Obolenskogo. Nizhniy Novgorod, 2016. 68 p.
 14. Savinykh P.A., Bulatov S.Yu., Mironov K.E. Determination of the optimal position of the loading window of the grain impact crusher. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. T. 8. No 4(30), pp. 76–81 (in Russ.).
 15. Savinykh P.A., Nechaev V.N., Bulatov S.Yu., Turubanov N.V. Molotkovaya drobilka s rotorom-ventilyatorom [Hammer crusher with rotor fan]. Patent na poleznuyu model' RUS 129843, 09.01.2013.
 16. Baranov N.F., Fufachev V.S., Sergeev A.G. The design of the blade wheel and the performance of the crusher fan Traktory i sel'khoz mashiny. 2008. No 12, pp. 30–32 (in Russ.).
 17. Moiseev O.N., Solov'ev A.N., Morisov A.F. Matematicheskaya model' vzaimodeystviya molotka s zernom v molotkovoy drobilke [Mathematical model of interaction between a hammer and grain in a hammer mill]. Azovo-Chernomorskiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva. Zernograd. 1995. 114 p.
 18. Moiseev O.N., Poluyan A.G., Solov'ev A.N. Numerical simulation of the process of hammer wear in a hammer mill Issledovaniya i realizatsiya novykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Research and implementation of new technologies and technical means in agricultural production]. Zernograd: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy i proektno-tekhnologicheskii institut mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva (VNIPTIMESKh). 2001, pp. 275–279 (in Russ.).
 19. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Savinykh P.A. Razrabotka drobilki zerna dlya krest'yanskikh khozyaystv i rezul'taty issledovaniy po optimizatsii ee konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov. Teoriya, razrabotka, metodika, eksperiment, analiz [Development of a grain crusher for peasant farms and the results of research on optimizing its design and technological parameters. Theory, development, methodology, experiment, analysis]. Knyaginino, 2014, 154 p.