

3. Пантелеева Е.И. Облепиха крушиновая: монография / РАСХН. Сиб. отд-ние. НИИСС. – Барнаул, 2006. – 249 с.

4. Бартенев В.Д. Разработка машины для съема плодов со срезанных ветвей облепихи // Состояние и перспективы развития плодородства, овощеводства и лесного хозяйства Западной Сибири: матер. науч.-практ. конф. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. – С. 6-11.

5. Бартенев В.Д. Разработка машины для съема плодов со срезанных ветвей облепихи // Ползуновский альманах. – 2005. – № 1. – С. 16-17.

6. Бартенев В.Д., Поляков Л.И., Хабаров С.Н. Разработка и результаты испытаний машины для отделения плодов со срезанных ветвей облепихи и разделения вороха на компоненты // Проблемы садоводства в Среднем Поволжье: сб. тр. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня образования Самарского НИИ «Жугулевские сады» (г. Самара, 16-17 сентября 2011 г.). – Самара: ООО «Изд-во А.С. Гард», 2011. – С. 38-42.

7. Современные тенденции развития промышленного садоводства: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию образования НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко (г. Барнаул, 18-23 августа 2008 г.) / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. НИИСС им. М.А. Лисавенко. – Барнаул: Принт-Инфо, 2008. – 438 с.

8. Dr. Mohammed Kazen ACHRAFL, Dr. habil. Rolf Datke, Dipl.-Ing. Manfred SCHMIDT, Dipl. Ernst TRIQUART, Sektion Gartenbau der Humboldt-Universität zu Berlin. Herausgeber «Gartenbau», 1990, № 7. P. 216-218.

References

1. Bartenev V.D., Khabarov S.N., Polyakov L.I. Ustroistvo dlya otdeleniya plodov so sre-

zannykh skeletnykh vetvei oblepikhi. Patent № 2216904, prioritet 13.06.2001 g.

2. Patent № 270863, AO1 D 46/28, Germaniya «Sposob mekhanizirovannoi uborki oblepikhi krushinovidnoi».

3. Panteleeva E.I. Oblepikha krushinovaya: monografiya / RASKhN. Sib. otd-nie. NIIS. – Barnaul, 2006. – 249 s.

4. Bartenev V.D. Razrabotka mashiny dlya s"ema plodov so srezannykh vetvei oblepikhi // Sostoyanie i perspektivy razvitiya plodovodstva, ovoshchevodstva i lesnogo khozyaistva Zapadnoi Sibiri: Mater. nauch.-prakt. konf., Barnaul: Izd-vo AGAU, 2005. – S. 6-11.

5. Bartenev V.D. Razrabotka mashiny dlya s"ema plodov so srezannykh vetvei oblepikhi // Polzunovskii al'manakh. – 2005. – № 1. – S. 16-17.

6. Bartenev V.D., Polyakov L.I., Khabarov S.N. Razrabotka i rezul'taty ispytaniy mashiny dlya otdeleniya plodov so srezannykh vetvei oblepikhi i razdeleniya vorokha na komponenty // Problemy sadovodstva v Srednem Povolzh'e: sb. tr. nauch.-prakt. konf., posv. 80-letiyu so dnya obrazovaniya Samarskogo NII «Zhugulevskie sady». (g. Samara, 16-17 sentyabrya 2011 g.). – Samara: ООО Izd-vo A.S. Gard, 2011. – S. 38-42.

7. Sovremennye tendentsii razvitiya promyshlennogo sadovodstva: mater. mezhd. nauch.-prakt. konf., posv. 75-letiyu obrazovaniya NII sadovodstva Sibiri im. M.A. Lisavenko (g. Barnaul, 18-23 avgusta 2008 g.) / Rossel'khozakademiya. Sib. otd-nie. NIIS im. M.A. Lisavenko. – Barnaul: Print-Info, 2008. – 438 s.

8. Dr. Mohammed Kazen ACHRAFL, Dr. habil. Rolf Datke, Dipl.-Ing. Manfred SCHMIDT, Dipl. Ernst TRIQUART, Sektion Gartenbau der Humboldt-Universität zu Berlin. Herausgeber Gartenbau, 1990. – №. 7. – P. 216-218.



УДК 631.363.28

И.Я. Федоренко, В.В. Садов
I.Ya. Fedorenko, V.V. Sadov

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ КОРМОВ В ГРАНУЛЫ И БРИКЕТЫ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ

OPTIMIZATION OF FEED PELLETING AND BRIQUETTING PROCESS IN TERMS OF ENERGY COSTS

Ключевые слова: гранулы, брикеты, прессование, энергетические затраты, оптимизация, крошимость, плотность.

Прессованные комбикорма имеют много преимуществ, хотя часто этот процесс отпугивает

производителей за счет большой энергоемкости процесса. Кроме процесса прессования большое количество энергии в общий технологический процесс добавляется дополнительным оборудованием: охладительные колонки, транспортеры для повторной подачи крошки и др. Для энергетической оп-

тимизации процесса были выделены два критерия и с ними решена оптимизационная задача, т.е. удельные энергозатраты свести к минимуму, а крошимость гранул или брикетов ограничить требованиями ГОСТа. Для решения задачи вместо плотности было принято рассматривать приращение плотностей. Проведя теоретические преобразования, было получено трансцендентное уравнение. Для его решения использовали графический метод. С учетом полученных графических зависимостей и при начальной плотности материала $\rho_0 \approx 100 \text{ кг/м}^3$ получили конечную плотность $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$, что приемлемо для плотности брикетов, закладываемых на хранение. Коэффициент возврата крошки на повторное прессование при найденном оптимальном $z \approx 7$ составит $k = 0,141$, или 14,1%. В итоге энергетический анализ технологического процесса производства кормовых гранул и брикетов обязательно должен учитывать возврат отошедшей крошки на повторное прессование. Это дает более объективное представление о резервах снижения энергозатрат и возможности оптимизации данного процесса. При этом предоставляется возможность использования экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях. Использование программы MathCAD позволяет пользователю решать сложные инженерные задачи экспериментальным путем, что продемонстрировано на примере численной оптимизации трансцендентной функции цели, отражающей энергозатраты с учетом возврата кормовой крошки на повторное прессование.

Keywords: pellets, briquettes, pressing, energy costs, optimization, friability, density.

Extruded formula feeds have many advantages, but often extrusion process discourages producers due to significant energy consumption. Besides the extrusion much energy is consumed by auxiliary equipment: cooling columns, crumb re-feeding conveyors and others. To optimize the process in terms of energy, two criteria were defined and the optimization problem was solved, i.e. to minimize the specific energy consumption and to limit the friability of pellets or briquettes by the GOST (Natl. Standard) requirements. To solve the problem, the increment of densities was considered as the density. A transcendental equation was obtained by theoretical conversion. A graphical method was used to solve it. Taking into account the obtained characteristic curves and the initial material density $\rho_0 \approx 100 \text{ kg m}^3$, the obtained final density amounted to $\rho_0 = 800 \text{ kg m}^3$, which was acceptable for the density of briquettes packed for storage. The coefficient of crumb return for repeated extrusion at the defined optimal $z \approx 7$ would make $k = 0.141$, or 14.1%. It is found that the energy analysis of feed pelleting and briquetting should take into account the return of crumbs for repeated extrusion. That gives a more objective view of the possibilities to reduce energy consumption optimize the process. That also enables using the experimental data obtained in laboratory environment. The use MathCAD software enables the user solving complex engineering problems experimentally. That is illustrated by the example of numerical optimization of transcendent objective function which reflects the energy costs taking into account the return of feed crumbs for repeated extrusion.

Федоренко Иван Ярославович, д.т.н., проф., зав. каф. «Механизация животноводства», Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 628-410. E-mail: IJFedorenko@mail.ru.

Садов Виктор Викторович, к.т.н., доцент каф. «Механизация животноводства», Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 628-387. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Fedorenko Ivan Yaroslavovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Animal Farming Mechanization, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 628-410. E-mail: IJFedorenko@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Animal Farming Mechanization, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 628-387. E-mail: Sadov.80@mail.ru.

Введение

Наряду с известными преимуществами приготовление кормов в виде гранул и брикетов имеет и существенный недостаток – высокая энергоемкость процесса прессования [1-3]. В связи с экономическими трудностями с 90-х годов прошлого века этот вид приготовления кормов был практически не востребован. В настоящее время появились признаки оживления на рынке гранулированной кормовой продукции, особенно комбикормов при перевозке их на большие расстояния.

Цель исследования. Большую актуальность приобретают вопросы оптимизации энергетических затрат при производстве гранул и брикетов. Поскольку львиная доля энергетических затрат приходится на сам процесс прессования, то рассмотрим подробнее некоторые закономерности этого процесса.

Объекты и методы исследований

При оптимизации процесса прессования с учетом качества получаемой кормовой продукции можно выделить два критерия оптимизации:

A – удельные затраты энергии на прессование кормов, кДж/кг;

K – крошимость гранул или брикетов, определяемая путём проведения специальных испытаний, % [1].

Последний показатель характеризует свойство прессованной кормовой продукции разрушаться в процессе транспортировки и раздачи. Этот показатель не должен превышать для гранул, предназначенных для сельскохозяйственных животных, 12% (из комбикорма – 22%), для брикетов – 15% [4, 5].

ГОСТ 23513-79 устанавливает и плотность получаемой продукции: гранул – 600-

1300 кг/м³; брикетов, предназначенных для непосредственного скармливания животным, – 500-700 кг/м³; брикетов, предназначенных для последующей переработки или закладываемых на хранение сроком свыше двух месяцев, – 700-1200 кг/м³. Если на основе экспериментов получена зависимость удельных затрат энергии A от плотности ρ получаемых гранул или брикетов, то задачу оптимизации для конкретного оборудования и виде пресуемых кормов можно свести к однокритериальной: критерий A перевести в главный, а критерию K придать статус ограничения.

Математически задача оптимизации для этого случая записывается в виде [6]:

$$\begin{aligned} & \text{- функция цели} \\ & A = f(\rho) \rightarrow \min ; \\ & \text{- ограничения} \\ & 0 \leq K \leq [K]; \quad (1) \\ & [\rho_-] \leq \rho \leq [\rho_+], \end{aligned}$$

где $[K]$ – допустимое значение крошимости, предписываемое ГОСТ, %;

$[\rho_-]$, $[\rho_+]$ – минимальное и максимальное допустимые значения плотности гранул или брикетов, кг/м³.

Математических трудностей при решении такой задачи оптимизации не возникает, но потребуются большое число трудоемких опытов в условиях реального производства (определение функций $A = f(\rho)$, $K = f(\rho)$), причем при смене исходного сырья эти опыты должны быть проведены вновь.

Рассмотрим другой путь – аналитико-экспериментальный, причем экспериментальные данные могут быть почерпнуты из научных статей и диссертационных работ. В этом случае при расчетах обязательно должны быть учтены особенности технологии производства гранул и брикетов, в частности возврат крошки на повторное прессование (рис. 1).

Часть непрессованной массы в виде крошки выходит из пресса, другая часть образуется при механических воздействиях в охлаждающей колонке и на вибрационной сортировке. Возврат этой крошки на повторное прессование существенно повышает затраты на данный технологический процесс. Действительно, чтобы полностью (без отходов) спрессовать 1 кг исходного материала, потребуются затраты энергии:

$$A = A_1 + A_1 k + A_1 k^2 + \dots = A_1 \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \right), \quad (2)$$

где $A_1(\rho)$ – энергозатраты при однократном пропуске 1 кг материала через пресс;

$k(\rho)$ – коэффициент возврата крошка на повторное прессование.

Сомножитель в скобках представляет собой бесконечную геометрическую прогрессию. Поскольку $k < 1$, то

$$\begin{aligned} 1 + \sum_{n=1}^{\infty} k^n &= \frac{1}{1-k}; \\ A(\rho) &= \frac{A_1(\rho)}{1-k(\rho)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, чтобы снизить затраты энергии, нужно уменьшить возврат массы на повторное прессование, этого можно достичь повышением плотности гранул и брикетов, что в свою очередь, повышает затраты $A_1(\rho)$, следовательно, и общие затраты на прессование.

Таким образом, налицо оптимизационная задача:

$$A_1(\rho) = \frac{A_1(\rho)}{1-k(\rho)} \rightarrow \min ; \quad (4)$$

$$0 \leq k \leq [k]; \quad (5)$$

$$[\rho_-] \leq \rho \leq [\rho_+].$$

Исследуем функцию цели (4) на оптимум сначала без учета конкретных зависимостей $A_1(\rho)$ и $k(\rho)$, а также ограничений (4) и (5).

Видоизменим сначала аргумент нашей функции цели, а именно вместо плотности ρ будем рассматривать относительное приращение плотности:

$$z = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}, \quad (6)$$

где ρ_0 – начальная плотность материала, подвергаемого прессованию.

Это приводит к эквивалентной оптимизационной задаче:

$$A(z) = \frac{A_1(z)}{1-k(z)} \rightarrow \min, \quad (7)$$

но с более корректной трактовкой аргумента [7].

Используем классический метод оптимизации, в соответствии с которым отыскиваем производную выражения (7):

$$\frac{dA}{dz} = \left[\frac{A_1(z)}{1-k(z)} \right]' = 0.$$

Вычисляем данную производную как отношение двух функций $A_1(z)$ и $1-k(z)$:

$$\frac{dA}{dz} = \frac{A_1'(1-k) - A_1(1-k)'}{(1-k)^2} = 0. \quad (8)$$

Поскольку в реальности $(1-k^2) \neq 0$, то остается предположить, что

$$A_1'(1-k) - A_1(1-k)' = 0.$$

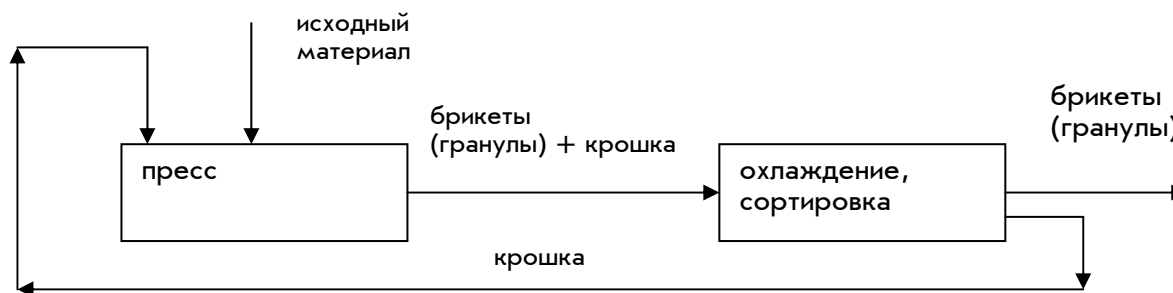


Рис. 1. Упрощенная схема производства прессованных кормов

Конкретизируем вид функций $A_1(z)$ и $k(z)$. График функции $A_1(z)$ представляет монотонно возрастающую функцию которая может быть аппроксимирован степенной функцией (рис. 2):

$$A_1 = az^\alpha, \quad (9)$$

где a и α – экспериментально определяемые коэффициенты.

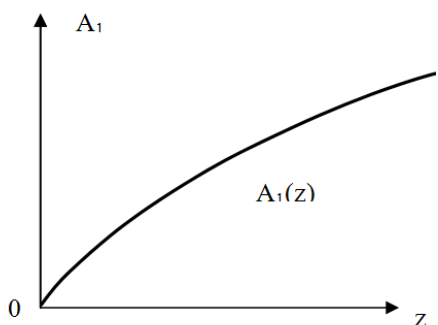


Рис. 2. Примерный вид функции $A_1(z)$

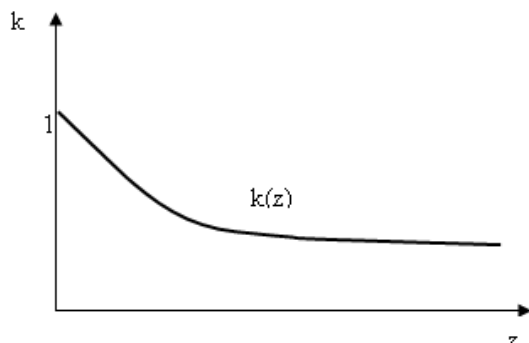


Рис. 3. Примерный вид функции $k(z)$

Функция $k(z)$, как показывает анализ имеющихся экспериментальных данных, может быть представлена экспоненциальной зависимостью (рис. 3):

$$k(z) = e^{-\beta z}, \quad (10)$$

где β – экспериментально определяемый коэффициент.

Производные функций (9) и (10) имеют вид:

$$A_1' = a\alpha z^{\alpha-1}; \quad (e^{-\beta z})' = -\beta e^{-\beta z}.$$

Следовательно, уравнение (8) примет форму

$$a\alpha z^{\alpha-1}(1 - e^{-\beta z}) - az^\alpha \cdot \beta e^{-\beta z} = 0.$$

Упрощая данное выражение, получим формулу

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{e^{\beta z} - 1}{z}. \quad (11)$$

Результаты исследований

Из данного трансцендентного уравнения и должно быть найдено оптимальное значение z . Для решения трансцендентных уравнений применяют графические, или итерационные, методы. Рассмотрим графический метод, обладающий большой наглядностью.

Условно обозначим левую часть выражения (11) как функцию $r_1(z)$, правую – $r_2(z)$. Пересечение графиков этих функций и дает искомое решение (рис. 4). Отсюда следует, что при введенных экспериментальных данных $\alpha = 0,34$; $\beta = 0,27$ (для кормосмеси из резки люцерны и концентратов в соотношении 1:1, $w = 15,5\%$) оптимальное значение z составляет около 7 (т.е. $z \approx 7$).

Примечательно, что z не зависит от коэффициента a , а лишь от соотношения коэффициентов α/β , а также β .

При необходимости от z можно по формуле (6) перейти к величине ρ , фигурирующей в первоначальной постановке задачи оптимизации (4-6). Такой переход еще нужен для того, чтобы выяснить, попадает ли оптимальное значение ρ в диапазон плотностей, указанный в стандартных [3, 4]. Если полученное значение ρ лежит вне интервала $[\rho_-; \rho_+]$, то окончательно следует принимать ближайшее граничное значение плотности, т.е. ρ_- или ρ_+ .

Численная оптимизация целевой функции:

Исходные данные:

$$a := 17,3 \quad \alpha := 0,34 \quad \beta := 0,27$$

$$A(z) := \frac{a \cdot (z^\alpha)}{1 - \exp[-\beta \cdot (z)]} - \text{целевая функция};$$

$k(z) := \exp[-\beta \cdot (z)]$ – функция для коэффициента возврата.

В нашем примере $\rho_0 \approx 100 \text{ кг/м}^3$, поэтому $\rho = \rho_0(z + 1) = 100(7 + 1) \approx 800 \text{ кг/м}^3$, что

приемлемо для плотности брикетов, закладываемых на хранение.

форму кривой прессования, не влияет на результаты оптимизации.

ГРАФИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

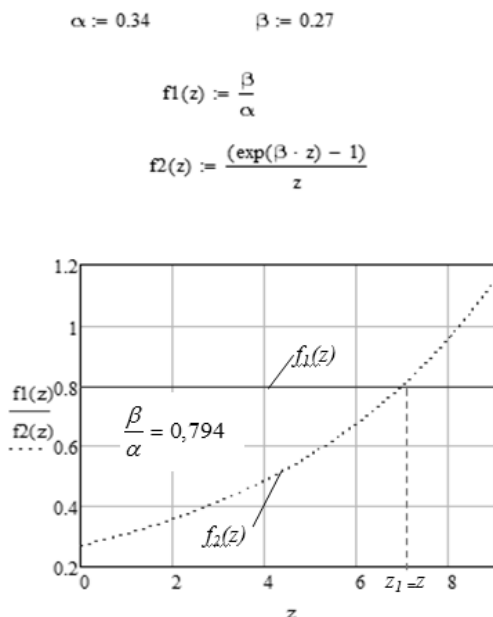


Рис. 4. Графическое решение уравнения (11)

Коэффициент возврата крошки на повторное прессование при найденном оптимальном $z_* \approx 7$ составит

$$k = e^{-\beta z_*} = e^{-0.28 \cdot 7} = e^{-1.96} = 0,141, \text{ или } 14,1\%.$$

Отделение крошки от брикетов или гранул, вышедших из пресса изданий, представляет своего рода испытание на крошимость (падение в охлаждающей колонке с некоторой высоты, виброобработка на решетке, транспортирование и т.д.). Поэтому в первом приближении можно принять, что $k(z) \cong K(z)$, т.е. и по данному показателю полученный результат оптимизации нас удовлетворяет.

Более точные результаты могут быть получены численным методом оптимизации, например, при использовании функции Minimize программного продукта MathCAD (рис. 5).

Таким образом, функция $A(z)$ в корне отличается от функции $A_1(z)$, и действительно имеет минимум (рис. 2). Причем данный минимум не имеет острой формы, поэтому без большого повышения энергетических затрат можно увеличить z до 8-9, при этом возврат крошки существенно снижается (следовательно, и крошимость гранул и брикетов).

Следовательно, второй метод оптимизации дает не только более точные результаты, но возможность исследовать оптимизируемую функцию. Первый же метод тоже дал положительный результат. Было выявлено, что эмпирический коэффициент a , отражающей

ЧИСЛЕННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ

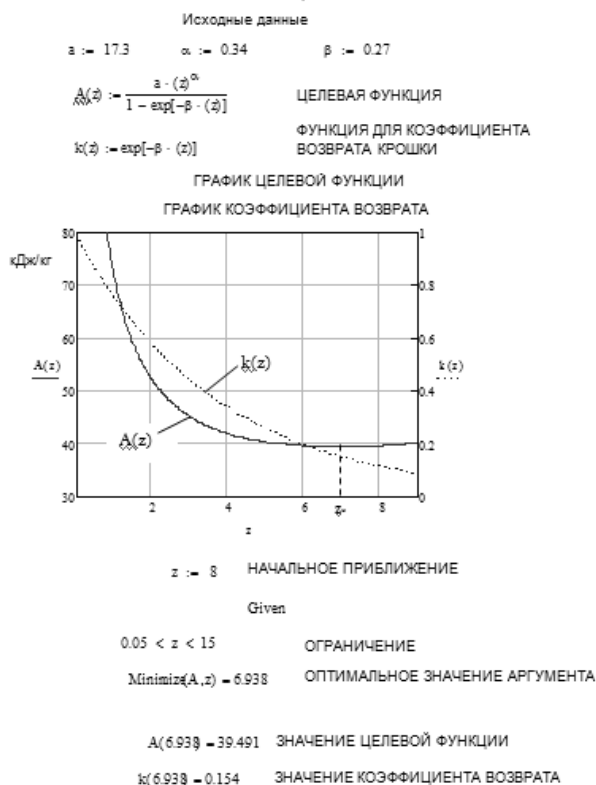


Рис. 5. Метод и результаты прямой оптимизации задачи с помощью функции Minimize программы MathCAD

Выводы

При энергетическом анализе технологического процесса производства кормовых гранул и брикетов обязательно должен быть учтен возврат отошедшей крошки на повторное прессование. Это дает более объективное представление о резервах снижения энергозатрат и возможность оптимизировать данный процесс. При этом предоставляется возможность пользователю решать сложные инженерные задачи экспериментальным путем, что продемонстрировано на примере численной оптимизации трансцендентной функции цели, отражающей энергозатраты с учетом возврата кормовой крошки на повторное прессование.

Библиографический список

1. Сыроватка В.И., Демин А.В., Джалилов А.Х. и др. Механизация приготовления кормов: справочник. – М.: Агропромиздат, 1985.
2. Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов: учебное пособие. – М.: Форум, 2007. – 176 с.

3. The Pelleting Handbook /J. Payne, W. Rattink, T. Smith, T. Winowiski. Published by BORREGAARD LIGNOTECH. Sarpsborg, Norway.

4. ГОСТ 23513-79. Брикеты и гранулы кормовые. Технические условия.

5. ГОСТ Р 51899-2002. Комбикорма гранулированные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 11 с.

6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1977. – 832 с.

7. Федоренко И.Я. Альтернативная теория прессования кормов // Вестник АГАУ. – 2013. – № 3(101). – С. 95-98.

References

1. Mekhanizatsiya prigotovleniya kormov: Spravochnik / V.I. Syrovatka, A.V. Demin, A.Kh. Dzhililov i dr. – М.: Agropromizdat, 1985.

2. Fedorenko I.Ya. Tekhnologicheskie professy i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov: Uchebnoe posobie. – М.: Forum, 2007. – 176 s.

3. The Pelleting Handbook / J. Payne, W. Rattink, T. Smith, T. Winowiski. Published by Borregaard Lignotech. Sarpsborg, Norway.

4. GOST 23513-79. Brikiety i granuly kormovye. Tekhnicheskie usloviya.

5. GOST R 51899-2002. Kombikorma granulirovannye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. – М.: Standartinform, 2008. – 11 s.

6. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov / G. Korn, T. Korn. – М.: Nauka, 1977. – 832 s.

7. Fedorenko I.Ya. Al'ternativnaya teoriya pressovaniya kormov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 3 (101). – S. 95-98.



УДК 621.797:629.114.41

А.П. Черныш, Р.Н. Дубоделов
A.P. Chernysh, R.N. Dubodelov

УПРОЧНЕНИЕ ПЕРФОРИРОВАННОГО ВИНТОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

HARDENING OF PERFORATED SPIRAL TOOL OF THE PLANT FOR HEAT TREATMENT OF GRAIN MATERIAL

Ключевые слова: установки для термообработки сыпучих материалов, сушка зерна, технологический ремонтный блок, упрочнение, наплавка, белый чугун, электроискровая наплавка.

В качестве объекта повышения износостойкости выбрана разработанная авторами установка для термообработки зернового материала, а именно перфорированный винтовой рабочий орган. Исследования проводились в лаборатории кафедры технологии металлов и ремонта машин Кемеровского ГСХИ. Целью исследования является выбор наиболее оптимального способа упрочнения функциональной поверхности перфорированного винтового рабочего органа с применением дешевых износостойких покрытий. Обоснованием выбора метода нанесения покрытия явилось применение способа формирования технологиче-

ских ремонтных блоков (ТРБ), который позволил выполнить электроискровую обработку белым нелегированным чугуном. Данный способ включает контактную обработку вращающимся электродом. В процессе нанесения покрытия осуществляется непрерывное удаление дефектного слоя с рабочей поверхности вращающегося электрода. При нанесении износостойкого покрытия по данному способу время обработки сократилось на 15-20%. Проведенные исследования показали, что наиболее оптимальным и малозатратным способом упрочнения функциональной поверхности рабочего органа установки для термообработки зернового материала является электроискровая наплавка термоциклированным нелегированным белым чугуном. Работоспособность функциональных поверхностей рабочего органа повысилась на 30% в сопоставлении с основным материалом без упрочнения. Результатом научного