

## **ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГА СПАДПРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ**

УДК 664.71:631.57:664.8.022.3

*В. А. ШАРШУНОВ, В. А. ШУЛЯК, А. В. ЕВДОКИМОВ*

### **РАЗРАБОТКА НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК ИЗ ПРОРАЩЕННОГО ЗЕРНА**

*Могилевский государственный университет продовольствия*

*(Поступила в редакцию 25.08.2009)*

**Введение.** В настоящее время во всем мире все более широкое применение находят пищевые добавки, полученные из пророщенного зерна различных злаковых культур и обладающие высоким питательным потенциалом. Пророщенное зерно содержит весьма широкий набор полезных веществ, витаминов и микроэлементов и оказывает специфическое высокоэффективное оздоравливающее воздействие на организм человека и животных. В получаемом в результате переработки конечном продукте все полезные вещества находятся в естественных и сбалансированных количествах и сочетаниях.

Муку, полученную из пророщенных зерновых культур, можно использовать как обычную (для выпечки хлебобулочных изделий), а также для приготовления самых разнообразных продуктов: хлебных палочек, снеков, различных макаронных и кондитерских изделий, сухих супов, каш, соусов и салатов, продуктов для диетического, диабетического и детского питания.

Пророщенное зерно и продукты его переработки можно использовать в качестве корма для домашних и сельскохозяйственных животных, а также для подкормки диких животных [1].

Широкое использование пророщенного зерна различных сельскохозяйственных культур может существенно улучшить качество многих продуктов, которые потребляет человек повседневно.

В настоящее время на мукомольных предприятиях для получения пищевых порошков из пророщенного зерна используется технология, при которой зерно после прохождения всех предварительных этапов подготовки высушивают с использованием инфракрасных сушилок, а затем измельчают на вальцовых станках. Данный процесс весьма продолжителен, требует наличия специфического технологического оборудования и значительных производственных площадей. Более эффективным направлением совершенствования как технологий, так и самого оборудования для их реализации на практике является совмещение сушки и измельчения в одном технологическом процессе переработки зерна.

Цель исследования – разработка направления совершенствования технологии и технических средств для получения порошковых пищевых добавок из пророщенного зерна.

**Материалы и методы исследования.** На кафедре «Прикладная механика» Могилевского государственного университета продовольствия в 2006–2009 гг. разработана экспериментальная установка (сушилка-диспергатор), позволяющая одновременно проводить сушку и измельчение зерновых культур и получать готовые пищевые добавки в виде порошка. Использование сушилок взвешенного слоя с малым временем пребывания в зоне термообработки позволяет вести сушку при температурах порядка 80–100 °С без потери качества готового продукта, сохраняя при этом биологически ценные вещества исходного сырья.

Общий вид оборудования для термомеханической обработки высоковлажных пищевых продуктов приведен на рис. 1, а на рис. 2 – схема роторного измельчителя.

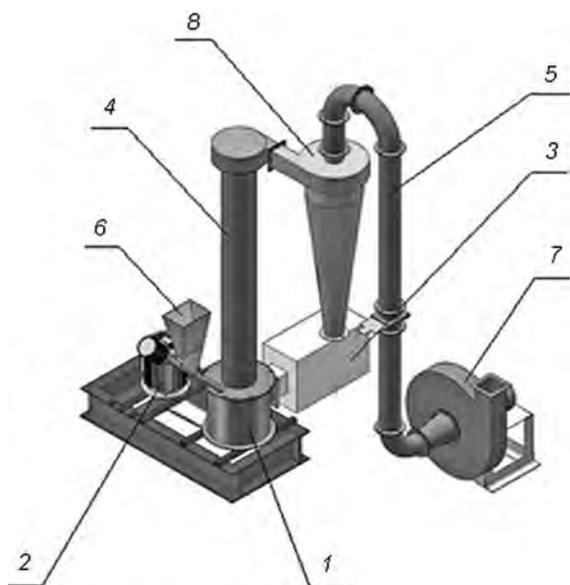


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для термомеханической обработки высоковлажных пищевых продуктов: 1 – рабочая камера мельницы с установленным в ней роторным измельчителем; 2 – электродвигатель; 3 – система подогрева сушильного агента; 4 – пневмотруба; 5 – воздуховод; 6 – пружинный питатель; 7 – вентилятор; 8 – система пылеулавливания высушенного продукта; 9 – пакет ножей роторного измельчителя

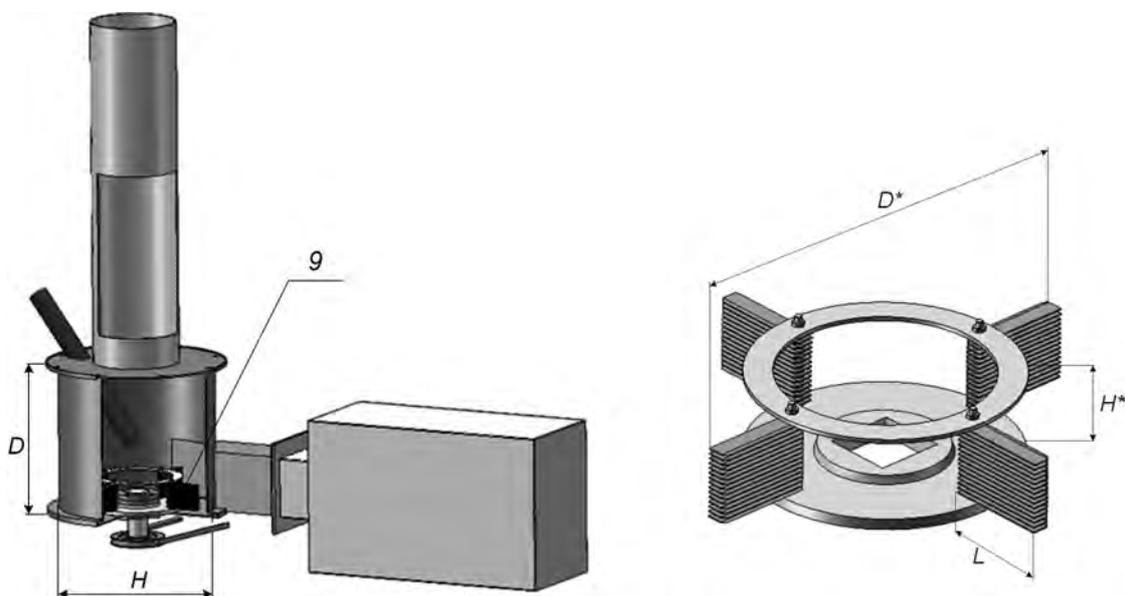


Рис. 2. Схема роторного измельчителя

Сушилка-диспергатор содержит рабочую камеру 1 с установленным в ней роторным измельчителем, подключенным к электродвигателю 2 через ременную передачу, систему подогрева сушильного агента 3, пневмотрубу 4, воздуховод 5, пружинный питатель 6, вентилятор 7 и систему пылеулавливания высушенного продукта 8. Роторный измельчитель выполнен в виде пакета ножей 9.

Сушилка-диспергатор работает следующим образом. Наружный воздух, проходя через систему подогрева сушильного агента 3, нагревается до температуры сушки и поступает в рабочую камеру мельницы 1, выполненную в форме вихревой камеры, что позволяет в первый период сушки добиться активного гидродинамического режима. Одновременно в рабочую камеру 1 пружинным питателем 6 подается материал.

Установка питателя 6 своим выходным концом по оси вращения роторного измельчителя обеспечивает подачу исходного материала в область максимального разрежения и позволяет равномерно распределять его по периметру роторного измельчителя и сразу смешивать материал с пылевой фракцией. Частицы влажного материала опудриваются частично подсушенным продуктом, теряют свою липкость и попадают на роторный измельчитель, где измельчаются

ножами 9. Образовавшаяся газовзвесь находится в закрученном состоянии и удерживается в виде стационарного кольца, вращающегося у боковой стенки вокруг оси рабочей камеры 1. По мере подсыхания частицы материала выносятся из камеры 1 в пневмотрубу 4, где происходит окончательное досушивание материала. Поток газовзвеси попадает непосредственно на вход системы пылеулавливания высушенного продукта 8. Отработанный сушильный агент выбрасывается в атмосферу. Готовый продукт собирается под системой пылеулавливания высушенного продукта в бункере. Разрежение в установке создается вентилятором 7.

Для исследования проращенного зерна как объекта сушки и измельчения в лабораторных условиях Могилевского государственного университета продовольствия был проведен комплекс исследований по определению структурно-механических свойств высоковлажного и проращенного зерна, подвергаемого разрушению в условиях статического и динамического нагружения. Исследовано влияние температурно-влажностных свойств проращенного зерна на его прочность. Величину предельных деформаций при проведении эксперимента измеряли с помощью оптического катетометра В-630, точность измерения которого составляет 0,001 мм [2].

Знание структурно-механических свойств измельчаемого продукта необходимо для расчета ударного усилия на концах ножей роторного измельчителя, подбора мощности и частоты вращения электродвигателя мельницы и определения основных конструктивных размеров аппарата. Структурно-механические свойства являются важными показателями пищевых продуктов как объектов сушки [3].

Для проведения эксперимента использовали проращенные зерна ржи, тритикале, пшеницы (выращенные в Могилевской области в 2007 г.), следующих сортов: рожь озимая сорта Верасень; тритикале озимая сорта Мара; пшеница яровая сорта Мунк.

Далее следовал ряд комплексных экспериментов, связанных с исследованием и определением основных технологических параметров сушилки-диспергатора и их взаимовлиянием друг на друга. В ходе эксперимента контролировали: начальную и конечную влажность продукта; относительную влажность воздуха в помещении; начальную и конечную массу материала; удерживающую способность установки по высушиваемому материалу; температуру воздуха на входе и выходе из рабочей камеры; объемный расход воздуха; скорость воздуха в различных точках тракта; секундную производительность установки; мощность, потребляемую на измельчение; дисперсный состав готового продукта.

Скорость воздуха и объемный расход измеряли при помощи трубки Питто-Прандтля, подключенной к многофункциональному измерительному прибору TESTO 435, с дискретностью измерений 1 с. Рабочий интервал температур сушильного агента составлял 80–100 °С. Объемный расход воздуха, проходящего через сушилку-диспергатор, составлял 900 м<sup>3</sup>/ч.

Размеры рабочей камеры опытного образца мельницы:  $D = 300$  мм и  $H = 310$  мм. При этом диаметр роторного измельчителя ( $D^*$ ) составлял 296 мм, а его высота ( $H^*$ ) – 110 мм. Длина ножа роторного измельчителя ( $L$ ) равна 75 мм, угол заточки лезвия ножа – 30 °С. Рабочая частота вращения ротора мельницы изменялась от 1845 до 2145 об/мин.

Измерения температуры в экспериментальной установке проводили одновременно в нескольких точках при помощи измерителя-регулятора «Сосна-002» и термopара марки ТХА-1199 с диаметром погружаемой части 0,3 мм. Для быстрого определения значений влажности перерабатываемых продуктов использовали электронный анализатор влажности Sartorius MA45. В данном приборе сушка проб обеспечивается керамическим инфракрасным нагревательным элементом при температуре до 160 °С.

Для оценки качества измельчения в процессе работы методом ситового анализа определяли гранулометрический состав измельченного продукта, по результатам которого были построены дифференциальные кривые распределения частиц по размерам (рис. 3). Статистическая обработка кривых позволяет оценить максимальный размер частиц готового продукта, средний размер фракции, среднее квадратичное отклонение функции распределения частиц по размерам [4].

**Результаты и их обсуждение.** Результаты проведенных экспериментальных исследований по термомеханической обработке проращенного зерна в сушилке-диспергаторе представлены в таблице.

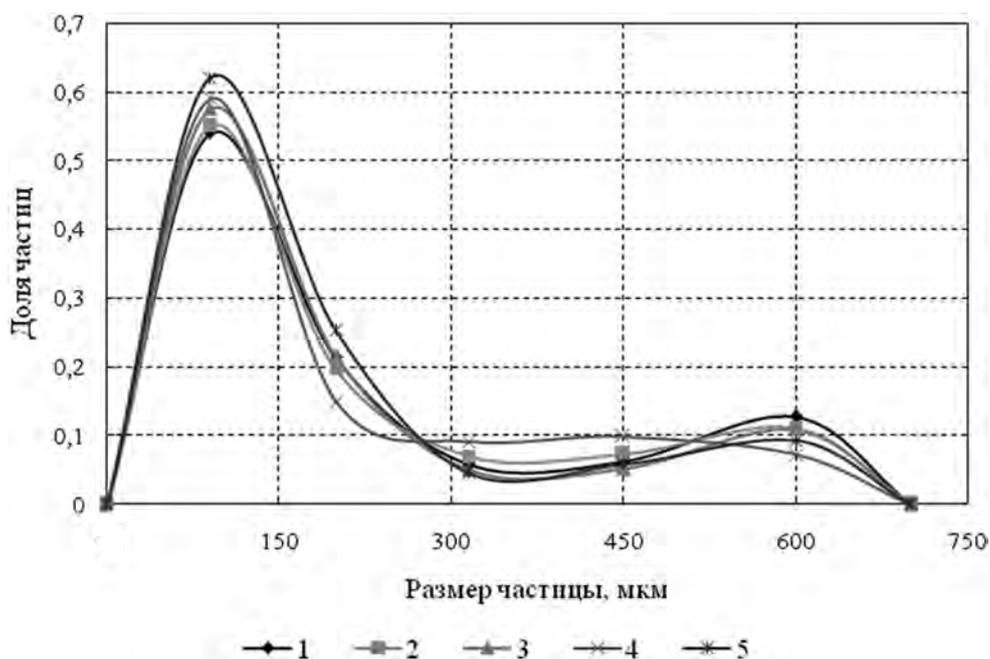


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения проращенного зерна ржи при начальной влажности 36% и частоте вращения роторного измельчителя 1845 об/мин: 1 – производительность 50 кг/ч; 2 – 45 кг/ч; 3 – 40 кг/ч; 4 – 35 кг/ч; 5 – 30 кг/ч

#### Технологические параметры процесса термомеханической обработки ржи

Влажность материала, %		Температура воздуха, °С		Производительность установки, кг/ч	Среднее время пребывания материала в сушилке-диспергаторе, с
до обработки	после обработки	после калорифера	на выходе из установки		
36	9,0	85	53	30	50
36	12,6	85	56	50	40
36	7,8	90	55	30	44
36	12,0	90	60	50	37
36	9,5	95	58	30	46
36	11,5	95	58	50	27
39	9,0	85	57	30	52
39	12,8	85	56	50	41
39	9,7	90	58	30	46
39	12,1	90	54	50	31
39	8,8	95	61	30	42
39	11,2	95	61	50	30
42	11,9	85	60	30	55
42	13,9	85	60	50	33
42	9,5	90	62	30	48
42	13,1	90	61	50	29
42	10,4	95	61	30	48
42	13,0	95	60	50	31

Для выявления зависимости степени измельчения исследуемого материала от конструктивных и кинематических параметров процесса измельчения были определены значения критерия Фруда, общепринятого для количественной оценки эффективности подобного оборудования в мукомольной промышленности [5]:

$$F = \frac{n^2 d}{g}, \quad (1)$$

где  $n$  – частота вращения ротора измельчителя, об/с;  $d$  – диаметр ротора, м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Для определения одного из важнейших параметров процесса измельчения (степени измельчения) перед проведением опытов определяли средние эквивалентные размеры зерен исходного материала. Для этого из зерен выбирали навеску и определяли размеры каждого зерна в отдельности, после чего по выражениям (2)–(4) [6] определяли значения объема и среднего эквивалентного диаметра сферической частицы  $d$ . Для зерен ржи, имеющих форму вытянутого эллипсоида, объем определяли по выражению

$$V = \frac{4}{3} \pi abc \quad (2)$$

( $a$ ,  $b$  и  $c$  – длина, ширина и толщина соответственно, м).

По среднему объему исходных частиц  $V_{cp}$  определяли величину эквивалентного диаметра частиц исходного продукта  $d$ :

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^z V_i}{z}, \quad (3)$$

где  $z$  – число измеренных частиц, тогда

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V_{cp}}{\pi}}. \quad (4)$$

Степень же измельчения определяли по выражению А. Г. Касаткина [5]:

$$i = \frac{d}{d_{50}}. \quad (5)$$

Здесь  $d_{50}$  – медианный размер (размер частиц, при котором масса всех частиц в порошке мельче или крупнее  $d_{50}$  составляет 50%) [4].

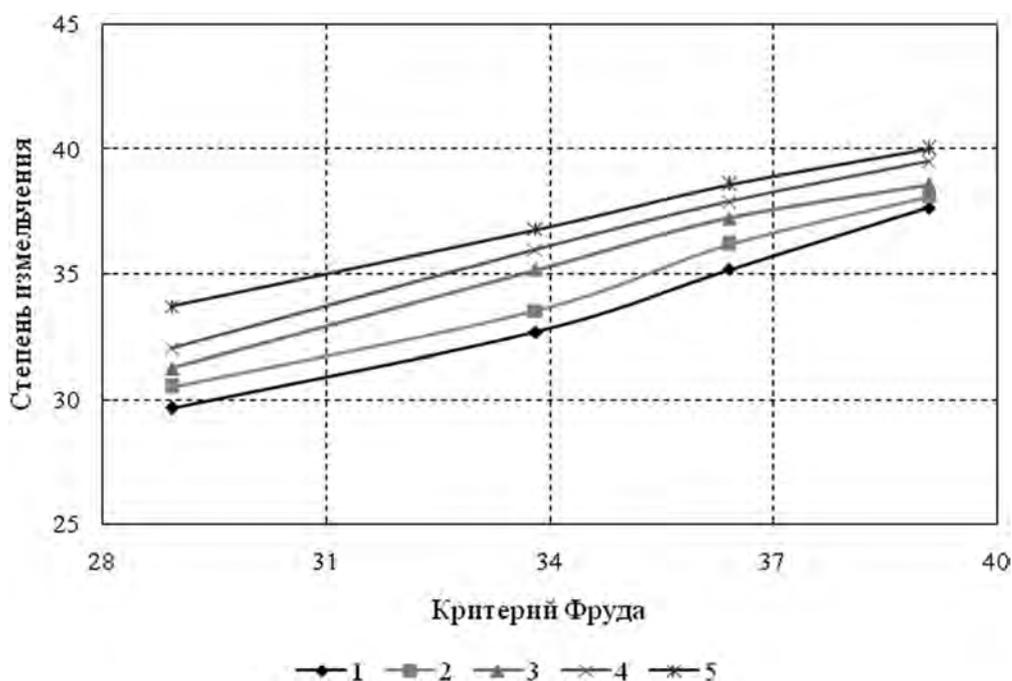


Рис. 4. Зависимость степени измельчения от критерия Фруда: 1 – производительность 50 кг/ч; 2 – 45 кг/ч; 3 – 40 кг/ч; 4 – 35 кг/ч; 5 – 30 кг/ч

Так как степень измельчения является безразмерной величиной, интересна ее зависимость от безразмерных комплексов, включающих основные влияющие параметры. На рис. 4 в графическом виде представлена зависимость степени измельчения от критерия Фруда при начальной влажности измельчаемого материала (пророщенное зерно ржи) 39% и температуре сушильного агента 90 °С. Установлено, что с увеличением критерия Фруда растет и степень измельчения.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что степень измельчения материала зависит от частоты вращения ротора, диаметра ротора и влажности самого материала. При уменьшении влажности измельчаемого продукта увеличивается его хрупкость и, как следствие, растет степень измельчения. При увеличении линейной скорости концов ударных элементов ротора измельчителя также растет степень измельчения. Достижение оптимального значения этого параметра возможно как за счет повышения частоты вращения ротора, так и за счет увеличения размера помольной камеры и длины бил.

Процесс сушки зерновых продуктов должен осуществляться в условиях, предотвращающих возникновение необратимых изменений и ухудшение их качества. Эти изменения связаны с процессами денатурации белков в процессе нагрева пищевых материалов [3]. Так как биологическая ценность белков определяется количеством и соотношением входящих в них аминокислот [1], то проведен анализ на содержание белка и аминокислот в пророщенном зерне ржи после его термомеханической обработки в сушилке-диспергаторе (при температурах сушильного агента 80 и 100 °С) и традиционным методом с использованием инфракрасной сушилки. Определение аминокислотного состава проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием хроматографа Agilent 1200. Разделение аминокислот производили на колонке Zorbax Eclipse-AAA. Анализ результатов доказал возможность применения сушилки-диспергатора при производстве пищевых добавок из пророщенного зерна, так как по содержанию белка и аминокислотному составу образцы, полученные несколькими способами, не уступают друг другу.

**Заключение.** Предложенная установка (сушилка-диспергатор) позволяет расширить диапазон технологических возможностей сушильных установок и повысить интенсивность процесса сушки при обработке высоковлажных, комкующихся и склонных к налипанию материалов, повысить диапазон регулирования времени пребывания в сушилке. Предлагаемая технология совмещения сушки и измельчения пищевого сырья позволит применять данную установку для сушки как термолабильных, так и термостойких материалов и получить из них готовые легко сыпучие порошки для последующего использования в пищевой промышленности.

Результаты проводимых научно-исследовательских работ использованы при разработке оборудования для измельчения и подсушки сахаристого и пластического пищевого сырья. Данное оборудование внедрено в технологическую схему производства на ОАО «Коммунарка» и ПТЧУП «НЭОФАРМ» (г. Минск) в 2008 г.

## Литература

1. З в е р е в, С. В. Физические свойства зерна и продуктов его переработки / С. В. Зверев, Н. С. Зверева. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 176 с.
2. К у р и л о в и ч, Н. Н. Исследование структурно-механических свойств пророщенного зерна / Н. Н. Курилович, В. А. Шуляк, А. В. Евдокимов / Вестник МГУП. – 2008. - № 2(5). – С. 119–127.
3. Г и н з б у р г, А. С. Технология сушки пищевых продуктов / А. С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 248 с.
4. К о у з о в, П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
5. К а с а т к и н, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – 8-е изд., перераб. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
6. К о р н, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн; пер. с англ.; под общ. ред. И. Г. Арамановича. – 4-е изд. – М.: Наука, 1977. – 832 с.

V. A. SHARSHUNOV, V. A. SHULYAK, A. V. EVDOKIMOV

**DEVELOPING THE DIRECTIONS OF PERFECTION OF EQUIPMENT FOR PREPARING POWDER FOOD  
ADDITIVES FROM SPROUTED GRAINS**

**Summary**

The design of a dryer and the principle of its operation are described. The dryer allows simultaneous drying and crushing of grain crops and producing ready food additives in the form of powder. On the basis of experimental research the analysis of the combined crushing and drying processes in the dryer for sprouted grains is made. Data on the fractional structure of prepared powders depending on the moisture content of the processed product, installation productivity and a grinder rotation frequency are obtained. Quality indicators of the crushing process for sprouted grains in the form of the dependence between the crushing degree and the Froude number are defined.