

УДК 664.726.5

ОБОСНОВАНИЕ ПОДОГРЕВА ЗЕРНА И ВОДЫ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ЗЕРНА К ПОМОЛУ

Е.И. Харченко,

доцент каф. технологии хранения и переработки зерна НУПТ (Украина), канд. техн. наук, доцент

Е.А. Еремеева,

доцент каф. технологии хранения и переработки зерна УНУС (Украина), канд. техн. наук, доцент

В статье приведены результаты моделирования температуры зерна пшеницы при изменении его начальной температуры и влажности в процессе увлажнения с учетом начальной температуры зерна. Предложена методика моделирования изменений температуры зерна для различных начальных условий. Приведена технологическая схема подготовки зерна к помолу производительностью 200...250 т/сутки с использованием подогревателей зерна ПЗ-6.

Ключевые слова: пшеница, температура, влажность, подготовка зерна, моделирование.

The results of modeling wheat grain temperature when changing its initial temperature and moisture content in the moistening process taking into account initial grain temperature are presented in the article. A technique for modeling changes in grain temperature for various initial conditions is presented. A technological scheme of preparing grain for grinding with a capacity of 200...250 t/day using grain heaters PZ-6 is presented.

Keywords: wheat, temperature, humidity, grain preparation, modeling.

Введение

В холодный и переходный периоды года зерно пшеницы подается на переработку в муку со сниженной температурой [1; 3; 4; 16], что негативно влияет на эффективность гидротермической обработки и, как следствие, на результаты помола зерна в муку [3, 4]. Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах [10] и ряд других литературных источников [3; 7; 15] рекомендуют проводить увлажнение зерна пшеницы водой, подогретой до 35,0...50,0 °С. Для нормального протекания гидротермической обработки и помола зерна его температура должна находиться в пределах 18,0...22,0 °С [5]. При сортовых помолах пшеницы, зерно, поступающее в переработку, рекомендуется подогревать до температуры 20,0...25,0 °С [14].

Классическая технология подготовки пшеницы к помолу рекомендует проводить подогревание зерна в аппаратах БПЗ перед подачей его на первый этап очистки [10]. Основная задача подогрева зерна заключается в увеличении его температуры и улучшении эффективности проведения «холодного» кондиционирования пшеницы.

Практика использования подогревателей зерна БПЗ показала, что они ненадежны в работе [12], из-за чего подогрев зерна был исключен из технологического процесса. Размещение подогревателей зерна в начале технологического процесса [10] перед подачей его на первый этап очистки приводит к охлаждению зерна при прохождении через технологическое и транспортное оборудование за счет отдачи тепловой энергии рабочим органам оборудования. В результате этого на увлажнение зерно пшеницы поступает с пониженной температурой.

Щербаков С.И. [17] рекомендует подогревать зерно непосредственно перед его увлажнением. Увеличение температуры зерна приведет к повышению эффективности «холодного» кондиционирования.

На современном этапе развития техники и технологии переработки зерна в муку подогреватели зерна изготавливаются только компанией «ОЛИС» (г. Одесса, Украина) [2; 9], технические характеристики которых позволяют повышать температуру зерна пшеницы до 15,0 °С [9]. Подогревание зерна пшеницы в процессе подготовки его к помолу используется на единичных предприятиях, но гораздо более широко применяется увлажнение зерна подогретой водой.

Несмотря на широкое распространение увлажнения зерна подогретой водой на мукомольных заводах, эффективность повышения температуры зерна пшеницы остается неизвестной, включая многочисленные исследования гидротермической обработки зерна [18]. Исследований увеличения температуры зерна в процессе его увлажнения подогретой водой в литературных источниках не приводится [3; 4; 8; 10; 14; 15; 17].

Целью работы является исследование температуры зерна пшеницы при его различных начальных температурах, увеличении влажности и рекомендации по организации технологии подготовки пшеницы к помолу с использованием подогрева зерна.

Основная часть

Исследовать изменения температуры зерна пшеницы в процессе его увлажнения возможно на основе законов теплопроводности зерна и воды.

Температуру зерна после его увлажнения определяли по формуле [3]:

$$t_{зв} = \frac{G_3 t_0 c_3 + G_6 t_6 c_6}{(G_3 + G_6) \cdot c_{зв}}, \quad (1)$$

где G_3 – масса зерна пшеницы, для расчетов принята $G_3 = 1,0$ кг;

G_6 – масса воды, которая добавлена к зерну с целью его увлажнения, кг;

t_0 – температура зерна перед его увлажнением (холодного зерна), °С;

t_6 – температура воды, добавляемая к зерну в процессе кондиционирования, °С;

c_3 – удельная теплоемкость зерна пшеницы, Дж/(кг·К);

c_6 – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);

$c_{зв}$ – удельная теплоемкость увлажненного зерна, Дж/(кг·К).

Удельную теплоемкость сухого зерна пшеницы, c_3 , Дж/(кг·К), рассчитывали по следующей формуле [5]:

$$c_3 = (891,7 + 87,49W_n - 1,545W_n^2 + 0,01149W_n^3) \times \\ \times [1 + 0,287 \cdot 10^{-3} (25 - W_n)(t_0 - 28)]. \quad (2)$$

где W_n – влажность зерна на общую массу, %.

Удельную теплоемкость воды, рассчитывали по формуле, которая предложена Осборном, Стимсоном и Гиннингсоном [18]:

$$c_6 = c_6(15^\circ\text{C}) \cdot [0,99618 + \\ + 0,0002874 \left(\frac{t_6 + 100}{100} \right)^{5,26} + \\ + 0,011160 \cdot 10^{-0,036t_6}], \quad (3)$$

где $c_6(15^\circ\text{C})$ – удельная теплоемкость воды при $15,0^\circ\text{C}$, $c_6(15,0^\circ\text{C}) = 4185,5$ Дж/(кг·К) [18].

Удельную теплоемкость увлажненного зерна определяли по формуле [13]:

$$c_{зв} = \frac{W_k}{100} c_6 + \frac{100 - W_k}{100} c_{сп}, \quad (4)$$

где W_k – влажность зерна на общую массу, %;

$c_{сп}$ – удельная теплоемкость сухих веществ пшеницы, $c_{сп} = 1550$ Дж/(кг·К) [6, 13].

Массу воды (G_6), кг определяли по формуле:

$$G_6 = G_3 \cdot \left(\frac{W_k - W_n}{100} \right), \quad (5)$$

где W_k – конечная заданная влажность зерна на общую массу, %;

W_n – начальная заданная влажность зерна на общую массу, %.

Увеличение влажности зерна пшеницы ΔW , % определяли как разницу между конечной и начальной влажностью зерна.

Конечную заданную влажность зерна принимали равной $16,0\%$, как оптимальную для зерна пшеницы при сортовых помоллах. Повышение влажности пшеницы на $5,0\%$ принято из условия, что в технологическом процессе «холодного» кондиционирования зерна в ап-

паратах интенсивного увлажнения А1-БШУ-2, возможно добавление влажности не более чем $5,0\%$ [11].

Моделирование проводили для двух возможных в практике мукомольного производства вариантов увлажнения зерна пшеницы. Первый вариант предусматривал, что технологический процесс подготовки зерна к помолу не имеет аппаратов для подогревания зерна, а его увлажнение происходит только подогретой водой.

Второй вариант предусматривал, что в технологический процесс подготовки зерна включен аппарат для подогревания зерна, и перед увлажнением зерно имеет температуру $15,0^\circ\text{C}$ [9].

Для моделирования изменения температуры зерна пшеницы в процессе его увлажнения начальную температуру зерна принимали от $-5,0$ до $10,0^\circ\text{C}$ с шагом в $5,0^\circ\text{C}$; температуру воды – $50,0^\circ\text{C}$ [19]; начальную влажность зерна пшеницы принимали от $11,0$ до $14,0\%$ с шагом в $1,0\%$. Конечную температуру зерна после увлажнения принимали равной $18,0 \dots 22,0^\circ\text{C}$, как рекомендуется в литературных источниках [3].

Также проводилось моделирование варианта увлажнения зерна водой с температурой $80,0^\circ\text{C}$ [8].

Проведенное моделирование изменений температуры зерна пшеницы (вариант 1) в зависимости от начальной температуры зерна и его влажности показало, что без предварительного нагрева при начальных температурах от $-5,0$ до $15,0^\circ\text{C}$ достичь температуры $18,0 \dots 22,0^\circ\text{C}$ невозможно. Результаты моделирования приведены на рисунке 1.

При температуре воды $50,0^\circ\text{C}$ и наибольшем увеличении влажности зерна на $5,0\%$ можно увеличить температуру зерна пшеницы только до $12,6^\circ\text{C}$ при условии, что начальная температура зерна будет составлять $10,0^\circ\text{C}$.

В случае, если начальная температура зерна пшеницы перед увлажнением будет составлять $10,0^\circ\text{C}$, а температура воды $80,0^\circ\text{C}$ [8] и максимальное повышение влажности на $5,0\%$, то в таком случае температура зерна пшеницы после увлажнения увеличится до $15,6^\circ\text{C}$. Приведенные данные указывают, что увлажнение пшеницы подогретой водой без предварительного подогрева самого зерна не обеспечивает повышения температуры зерна до $18,0 \dots 22,0^\circ\text{C}$ [14].

В случае, если температура зерна пшеницы перед подачей на увлажнение будет составлять $15,0^\circ\text{C}$, что возможно при использовании предварительного подогревания зерна (вариант 2), а температура воды $50,0^\circ\text{C}$, то при увеличении влажности зерна на $5,0\%$, его температура увеличится до $16,6^\circ\text{C}$, что также не обеспечивает повышения температуры зерна пшеницы до $18,0 \dots 22,0^\circ\text{C}$. Результаты исследований приведены на рисунке 2.

Если зерно пшеницы будет увлажняться с $14,0\%$ до $16,0\%$, что также возможно в практике мукомольного производства, то при начальной температуре пшеницы $15,0^\circ\text{C}$, его температура после увлажнения увеличится только на $0,3^\circ\text{C}$.

При всех одинаковых условиях, увлажнение зерна, подогретого до $15,0^\circ\text{C}$ водой с температурой $80,0^\circ\text{C}$, позволяет повысить его температуру до $19,6^\circ\text{C}$, что

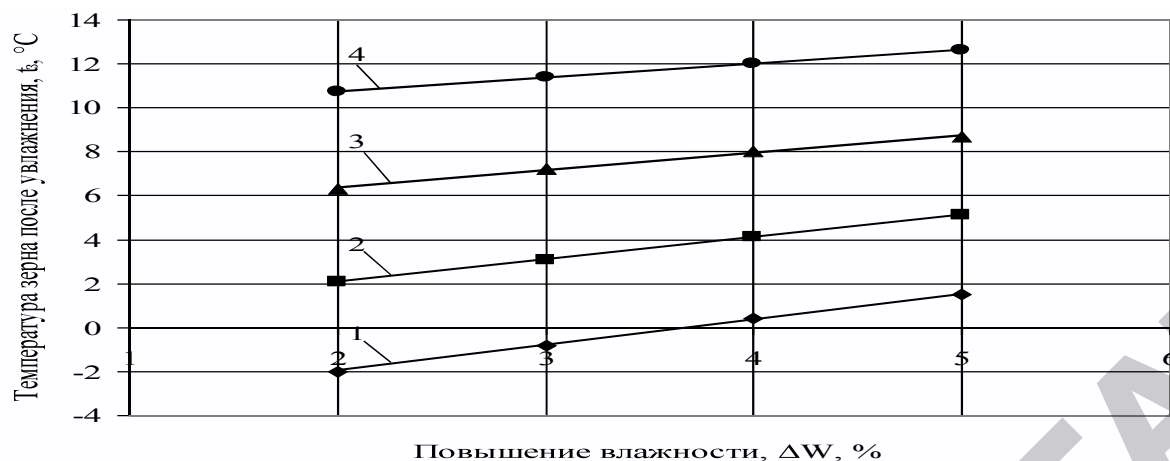


Рисунок 1. Повышение температуры зерна пшеницы при увлажнении его водой с температурой 50,0 °C и разной начальной температурой: 1 – -5 °C; 2 – 0 °C; 3 – 5 °C; 4 – 10 °C



Рисунок 2. Повышение температуры зерна пшеницы, подогретой до 15,0 °C, при увлажнении ее водой с температурой 50,0 °C

соответствует диапазону температур зерна пшеницы 18,0...22,0 °C [3].

Подогревание зерна целесообразно проводить непосредственно перед его подачей в аппараты интенсивного увлажнения. Это обеспечит уменьшение передачи тепловой энергии подогретым зерном рабочим органам технологического и транспортного оборудования. Организация технологического процесса подготовки зерна к помолу с подогревом зерна для мукомольных заводов производительностью 200...250 т/сутки существенно не отличается от предложенных в правилах организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах [10]. Отличительной особенностью такого технологического процесса является наличие подогревателей для зерна перед его подачей непосредственно на увлажнение. Производительность подогревателей для зерна ПЗ-6 составляет 6 т/час [9], что обеспечивает работу технологического процесса в два потока [11].

Для обеспечения равномерного увлажнения пшеницы, в технологическом процессе необходимо предусмотреть систему автоматического увлажне-

ния, которая является частью технологии и должна быть предусмотрена на этапе проектирования технологического процесса подготовки зерна к сортовому помолу (рис. 3). В состав этой системы входит электронное устройство расхода зерна (2.15, 2.16) (рис. 3) с возможностью передачи сигнала на контроллер прибора для измерения влажности зерна в потоке (15.1, 15.2) (рис. 3). Подогреватели зерна ПЗ-6 должны быть установлены перед устройствами расхода зерна, в связи с тем, что эти устройства эффективно работают только под подпором потока зерна. При такой компоновке процесса, подогреватели зерна также выполняют функцию оперативных емкостей. Установка системы автоматического увлажнения зерна пшеницы обеспечивает учет той влаги, которая частично испаряется за счет нагрева зерна в подогревателях для зерна ПЗ-6.

Заключение

На основании законов теплопроводности зерна проведено моделирование температуры зерна пшеницы, что позволяет сделать следующие выводы:

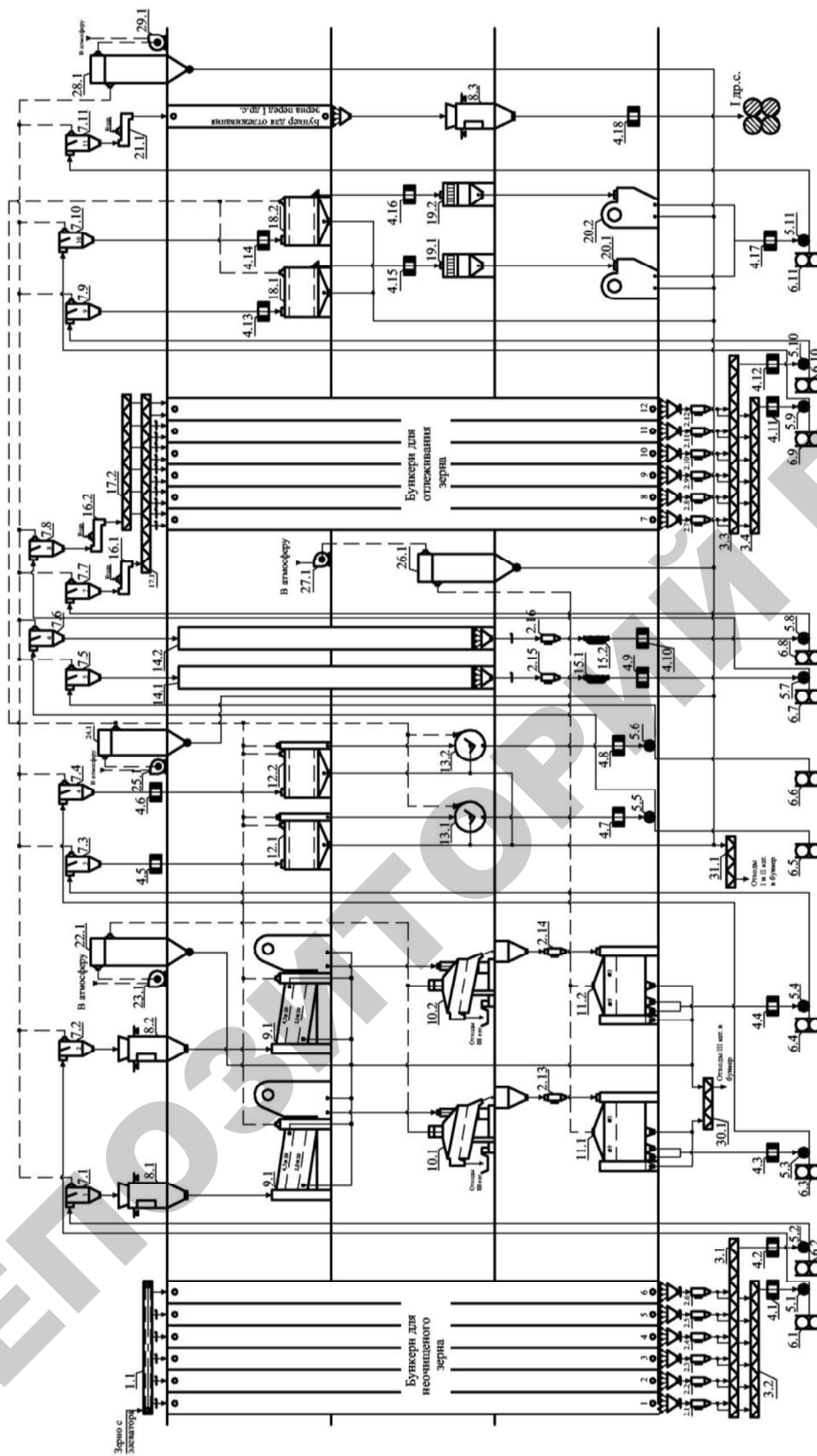


Рисунок 3. Схема технологического процесса подготовки зерна пшеницы к сортовому помолу с использованием подогревателей зерна производительностью 200...250 т/сутки: 1.1 – транспортер КС-320; 2.1-2.16 – устройство расхода зерна РВЗ-1; 3.1-3.4 – транспортер Ш-200; 4.1-4.18 – магнитная колонка БМЗ; 5.1-5.11 – шлюзовая питатель РЗ-БШЗ; 6.1-6.11 – воздушная машина; 7.1-7.11 – циклон-разгрузитель У2-БР0; 8.1-8.3 – весовой дозатор; 9.1 – зерноочистительный сепаратор с воздушным каналом ВС-600; 10.1-10.2 – камнеотборник РЗ-БКТ-100; 11.1-11.2 – концентратор КЗХ-9; 12.1-12.2 – обоченная машина МАО-6 с аспирационным каналом ВС-600; 13.1-13.2 – триер-куколетборник А9-УТК-6; 14.1-14.2 – подогреватель зерна ПЗ-6; 15.1-15.2 – устройство расхода зерна РВЗ-1; 16.1-16.2 – аппарат интенсивного увлажнения А1-БШУ-2; 17.1-17.2 – транспортер винтовой Ш-200; 18.1-18.2 – обоченная машина РЗ-БГО-8; 19.1-19.2 – энтолейтор-стерилизатор РЗ-БЕЗ; 20.1-20.2 – воздушный сепаратор А1-БДЗ; 21.1 – аппарат интенсивного увлажнения А1-БШУ-1; 22.1, 24.1, 26.1, 28.1 – фильтр-циклон РЦИЕ-40, 8-48; 23.1 – вентилятор среднего давления (аспирация сепараторов); 25.1, 27.1, 29.1 – вентилятор для отходов I и II категории Ш-160; 30.1 – транспортер для отходов III категории Ш-160; 31.1 – транспортер для отходов I и II категории Ш-160.

1. Увлажнение пшеницы с низкой начальной температурой водой, подогретой до 50,0 °С на 5,0 %, не обеспечивает повышения температуры зерна до 18,0...22,0 °С. Температура зерна повышается до 12,6 °С.

2. Увлажнение зерна пшеницы с низкой начальной температурой водой, подогретой до 80,0 °С, повышает температуру зерна на 5% – до 15,6 °С.

3. Увлажнение зерна пшеницы с начальной температурой 15,0 °С водой с температурой 50,0 °С на 5,0 % обеспечивает повышение температуры до 16,6 °С.

4. Увлажнение зерна пшеницы с начальной температурой 15,0 °С водой с температурой 80,0 °С на 5,0 % обеспечивает повышение температуры до 19,6 °С.

Доказано, что повышение температуры зерна пшеницы до 18,0...22,0 °С возможно только при увлажнении его водой с температурой 80,0 °С в количестве 5,0 % и начальной температурой зерна 15,0 °С. Исходя из этого, подогревание зерна пшеницы целесообразно проводить непосредственно перед подачей его на этап увлажнения, что дает возможность уменьшить потери тепловой энергии зерном и улучшить эффективность «холодного» кондиционирования. Для предприятий производительностью 200...250 т/сутки рекомендуется для подогревания зерна использовать аппараты марки ПЗ-6 с производительностью 6 т/час.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Атаназевич, В.И. Сушка зерна / В.И. Атаназевич. – М.: Агропромиздат, 1986. – 240 с.

2. Верещинський, О.П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортів хлібопекарських помелів пшениці / О.П. Верещинський: автореферат дисс. докт. техн. наук. – К.: НУХТ, 2013. – 35 с.

3. Егоров, Г.А. Гидротермическая обработка зерна / Г.А. Егоров. – М.: Колос, 1968. – 95 с.

4. Егоров, Г.А. Особенности подготовки и размола замороженного зерна пшеницы. Обзорная информация: серия Мукомольно-крупяная промышленность / Г.А. Егоров, А.А. Моксякова, Р.А. Ульченко. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1981. – 56 с.

5. Егоров, Г.А. Технология муки. Технология крупы / Г.А. Егоров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2005. – 296 с.

6. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239 с.

7. Жислин, Я.М. Выработка муки и крупы в сельскохозяйственном мукомолье / Я.М. Жислин, А.К. Терещенко. – М.: Колос, 1969. – 231 с.

8. Совершенствование технологии помолов пшеницы и ржи в СССР и за рубежом / Б.М. Максимчук [и др.] // Обзорная информация. Серия: Мукомольно-крупяная промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ, 1981. – 40 с.

9. Подогреватель зерна ПЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.olis.com.ua/rus/podogrevateli-zerna-pz.html>. – Дата доступа: 02.07.2020.

10. Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах. – Минск: Минсельхозпрод, 2010. – 235 с.

11. Птушкина, Г.Е. Высокопроизводительное оборудование мукомольных заводов / Г.Е. Птушкина, Л.И. Товбин. – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.

12. Повышение эффективности работы мельниц, оснащенных комплектным высокопроизводительным оборудованием. Рекомендации совещания-семинара. – Калинин: Министерство хлебопродуктов РСФСР, 1988. – 25 с.

13. Станкевич, Г.М. Сушение зерна / Г.М. Станкевич, Т.В. Страхова, В.И. Атаназевич. – К.: Либідь, 1997. – 352 с.

14. Куприца, Я.Н. Технология переработки зерна: мукомольное, крупяное и комбикормовое производство / Я.Н. Куприца. – М.: Колос, 1965. – 504 с.

15. Чеботарев, О.Н. Технология муки, крупы и комбикормов / О.Н. Чеботарев, А.Ю. Шаззо, Я.Ф. Мартыненко. – Ростов-на-Дону, 2004. – 688 с.

16. Исследование температуры зерна при его подготовке к помолу / О.И. Шаповаленко [и др.] // Хранение и переработка зерна. – 2010. – №3. – С. 45.

17. Щербаков, С.И. Помолы пшеницы и ржи / С.И. Щербаков. – 2-е изд.; перераб. и доп. – М.: Заготиздат, 1953. – 275 с.

18. Kaye, G.W. Tables of physical and chemical constants / G.W. Kaye, T.H. Laby. – Longmans, Green & Co, London, New York, Toronto. – 1970.

19. Kharchanko, Y. Influence of water temperature and moisture increase on wheat temperature during moistening / Y. Kharchanko, V. Chorny, A. Sharan // Ukrainian Journal of Food Science. – 2020. – №8 (1). – P. 58-67.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 01.08.2020