

ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.8.047

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУШКИ КОНЦЕНТРАТА ПЕКТИНА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ УСТАНОВКИ

З. В. Василенко, В. И. Никулин, Л. В. Лазовикова, Е. А. Колюкович

Могилевский государственный университет продовольствия, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Ресурсоэффективным и экологически безопасным способом обезвоживания пектинового раствора является его сушка в виброкипящем слое инертного материала. Однако информация, имеющаяся в научной литературе, по процессу сушки и комплексному влиянию режимных параметров процесса на его скорость и качественные характеристики готового продукта, противоречива, чем и обусловлена актуальность и научная новизна исследования.

Материалы и методы. Использовали раствор яблочного пектина. Процесс сушки исследовали на экспериментальной установке в соответствии ортогональным планом исследования 4-х факторов на 4-х уровнях, построенном на основе 2-х стандартных и 2-х латинских квадратов 4×4. Управляемые параметры процесса – удельная нагрузка гранул инертного материала, скорость, температура воздуха, концентрация пектина. Качественные показатели пектина – влажность, молекулярную массу, степень метоксилирования, прочность студня – определяли общепринятыми методами.

Результаты. Получено эмпирическое уравнение, связывающее предельную производительность по испаренной влаге с основными параметрами процесса сушки.

Выводы. Наиболее значимыми факторами, влияющими на скорость процесса сушки концентрата пектина и производительность установки, являются скорость воздуха перед решеткой, температура входящего воздуха, удельная нагрузка гранул инертного материала и начальная концентрация раствора пектина по сухим веществам. Для получения пектина, отвечающего требованиям к пектину 1 сорта, температура отработанного воздуха в процессе сушки не должна превышать 75 °С.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *сушка в виброкипящем слое, концентрат пектина, инертные гранулы, скорость сушки, производительность, ортогональный план.*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Василенко, З. В. Влияние режимных параметров сушки концентрата пектина на производительность установки / З. В. Василенко, В. И. Никулин, Л. В. Лазовикова, Е. А. Колюкович // Вестник МГУП. – 2019. – № 1 (26). – С. 112–119.

INFLUENCE OF OPERATING CONDITIONS OF PECTIN CONCENTRATE DRYING ON INSTALLATION PRODUCTIVITY

Z.V. Vasilenko, V.I. Nikulin, L.V. Lazovikova, E. A. Kolyukovich

Mogilev State University of Food Technologies, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. Resource efficient and ecologically safe way to dehydrate pectin solution is to dry it in the vibrating fluid bed of the inert material. However, information available in scientific literature on the process

of drying and complex influence of operating conditions on its speed and qualitative characteristics of a ready-made product is contradictory. This fact defines the relevance and scientific novelty of the research.

Materials and methods. A study was made into apple pectin solution. Process of drying was investigated on the experimental installation according to the orthogonal design of 4 factors at 4 levels developed on the basis of 2 standard and two Latin squares 4×4. Controlled process parameters were specific load of granules of inert material, speed, air temperature, pectin concentration. Quality indicators of pectin – humidity, molecular weight, methoxylation degree, jelly strength were determined by standard methods.

Results. Empirical equation relating ultimate evaporative rate to key parameters of drying process was developed.

Conclusions. The most significant factors that influence the drying speed of pectin concentrate and productivity of installation are air speed before the lattice, air-in temperature, specific load of granules of inert material and initial dry matter concentration of pectin solution. To receive pectin adequate to the first grade pectin spent air temperature during drying should not exceed 75 °C.

KEY WORDS: *drying in vibrating fluid bed, pectin concentrate, inert granules, drying speed, productivity, orthogonal design.*

FOR CITATION: Vasilenko Z.V., Nikulin V.I., Lazovikova L.V., Kolyukovich E.A. Influence of operating conditions of pectin concentrate drying on installation productivity. Bulletin of Mogilev State University of Food Technologies. 2019. No.1 (26). P. 112– (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Традиционная технология производства пектина из растительного сырья включает промывание выжимок, кислотный гидролиз с экстрагированием пектина, отделение твердой фракции от экстракта с его последующей обработкой этанолом или другим агентом и сушку конечного продукта [1, 2]. Обработка этанолом в условиях производства требует больших объемов спирта и энергозатрат на его регенерацию, а также увеличивает количество производственных стоков. Таким образом, осаждение пектина из экстракта является высокозатратным, экологически небезопасным и энергоемким процессом [3].

Упрощение традиционной технологии производства пектина может быть достигнуто сушкой непосредственно пектиновых экстрактов. Одним из способов обезвоживания пектиновых экстрактов является сушка в распыленном состоянии, которая, однако, сложна как для исследования и управления, так и для контроля выходных параметров готовой продукции [4–7]. Часто возникают проблемы с начальной влажностью продукта ввиду роста энергозатрат на диспергирование продукта при сушке. К недостаткам распылительных сушилок также можно отнести их громоздкость, необходимость подбора конструкции фильтров, обеспечивающих полное отделение уносимого пылевидного пектина, небольшой его объемный вес.

Другим способом обезвоживания пектинового раствора является сушка в виброкипящем слое инертного материала [8, 9]. Слой гранул инертного материала обладает развитой поверхностью теплообмена, в результате, по сравнению с распылительными сушилками, напряжение по испаренной влаге с единицы объема сушильной камеры увеличивается в 30–40 раз. Получаемый этим методом сухой продукт имеет порошковую структуру, хорошую сыпучесть и легко улавливается в циклонах.

Несмотря на ряд существенных преимуществ данного метода, информации по исследованию процесса сушки экстракта пектина в виброкипящем слое инертных гранул в литературе недостаточно. Поэтому проведение исследования комплексного воздействия режимных параметров процесса на его протекание и качественные характеристики готового продукта является актуальной задачей, решение которой позволит установить условия введения процесса в режиме близком к оптимальному, что для таких энергоемких процессов как сушка является крайне важным обстоятельством.

Цель данного исследования – изучение влияния основных режимных параметров сушки концентрата пектина на предельную производительность по испаренной влаге.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служил процесс сушки растворов пектина в виброкипящем слое инертных гранул.

Растворы пектина получали путем растворения сухого порошка в воде до нужной концентрации.

Исследования процесса сушки проводились в соответствии ортогональным планом исследования 4-х факторов на 4-х уровнях, построенном на основе 2-х стандартных (упорядоченных) и 2-х латинских квадратов 4×4.

Для высушенного пектина определяли следующие показатели:

- влажность пектина по ГОСТ 28561-90 [10];
- молекулярную массу пектина вискозиметрическим методом [11];
- прочность пектиновых студней по ГОСТ 29186-91 [12] и МВИ МГ 094-2006 [13];
- степень метоксилирования пектина по ГОСТ 29186-91 [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты проводились на установке, представленной на рис. 1.

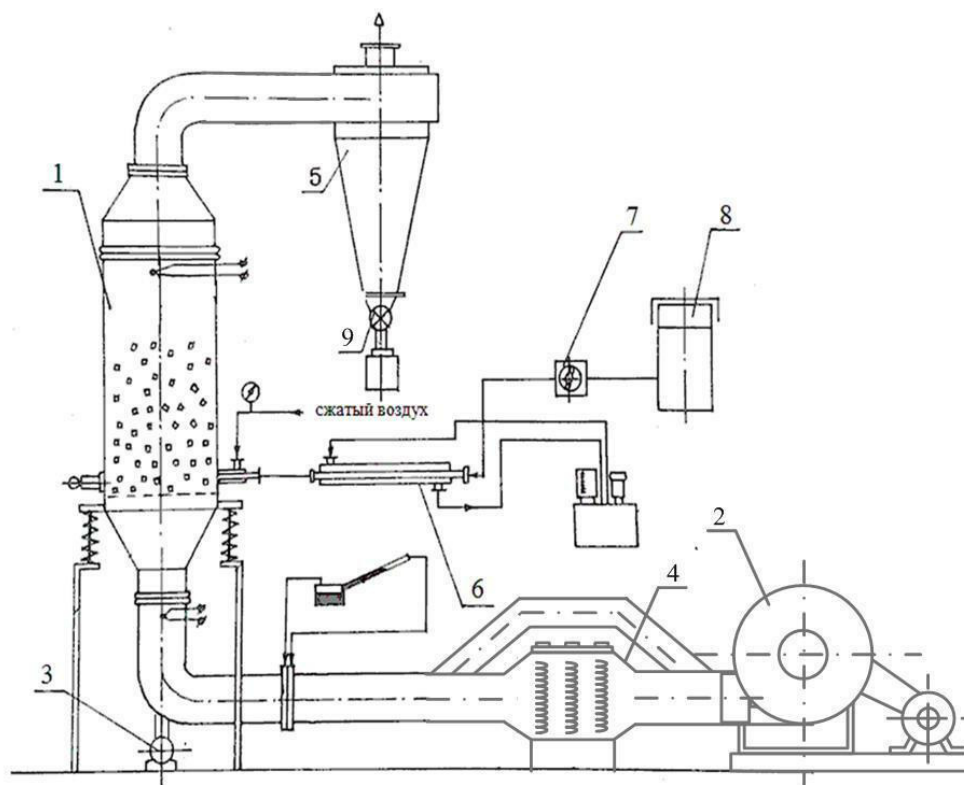


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Fig. 1. Scheme of the experimental installation

Сушилка состоит из следующих основных частей: вентилятора 2, электрического калорифера 4, сушильной камеры 1, циклона 5 со шлюзовым затвором 9. Сушильная камера получает колебательное движение по вертикали от эксцентрикового вибропривода 3. В сушильной камере 1 на газораспределительной решетке постоянно находятся инертные гранулы – кубики размером 4х4 мм из фторопласта, которые приводятся в псевдоожиженное состояние за счет подачи снизу нагретого воздуха и колебаний решетки. Температура горячего воздуха контролируется и регулируется с помощью электронного потенциометра. В качестве датчика используется малоинерционная термопара с диаметром электродов 0,1 мм. Для уменьшения вязкости продукта перед подачей в слой инертного материала его предварительно нагревали в теплообменнике 6 горячей водой, поступающей из термостата. Жидкий раствор пектина из

емкости 8 шестеренчатым насосом 7 подается к пневматической форсунке, которая распыляет данный раствор в слой гранул. Жидкий продукт покрывает поверхность инертных гранул и высыхает в виде тонкой пленки. Высохший пектин теряет адгезионную связь с гранулами и уносится воздухом в циклон, где отделяется из воздушного потока.

В предварительных опытах была выявлена возможность осуществления непрерывного процесса сушки раствора пектина в виброкипящем слое инертных гранул. Известно, что поведение псевдооживленного слоя зависит от производительности установки. По мере увеличения подачи жидкого продукта кипение становится более неоднородным, в слое появляются слипшиеся гранулы. При этом поверхность гранул покрыта продуктом не полностью. В связи с этим для повышения производительности полезно применить вибрирующую газораспределительную решетку, поскольку за счет вибраций образующиеся агломераты гранул разбиваются. Были использованы вертикальные вибрации с частотой 7,5 Гц и амплитудой 8 мм [14].

При исследовании процесса сушки эксперименты проводили в стационарном состоянии. Процесс сушки начинали с малой производительности по исходному продукту и далее ступенчато повышали подачу раствора пектина, осуществляя непрерывный процесс в течение 30 минут для каждого нового значения производительности.

На основании анализа работ по сушке жидких пищевых продуктов в виброкипящем слое инертного материала, в качестве управляемых переменных при исследовании процесса сушки раствора пектина были выбраны:

- удельная нагрузка гранул инертного материала $\frac{G}{F_p}$, кг/м²;
- скорость воздуха под решеткой V , м/с;
- начальная температура воздуха t_1 , °С;
- начальная концентрация раствора пектина по сухим веществам C_1 , %.

Исследования проводились в следующем диапазоне изменения управляемых переменных:

- удельная нагрузка гранул инертного материала $\frac{G}{F_p}$ – от 140 до 170 кг/м²
- скорость воздуха под решеткой V – от 4,0 до 5,5 м/с
- начальная температура воздуха t_1 – от 100 до 120 °С
- начальная концентрация раствора пектина по сухим веществам C_1 – от 5 до 15 %

Расход воздуха на распыл во всех опытах составлял 11 м³/ч.

В качестве выходного параметра процесса сушки раствора пектина в виброкипящем слое инертных гранул нами была выбрана предельная производительность по испаренной влаге.

Искомую зависимость выходного параметра от принятых независимых переменных представили в виде произведения функции от отдельных аргументов (1):

$$\frac{U}{F_p} = A \times f\left(\frac{G}{F_p}\right) \times f(V) \times f(t_1) \times f(C_1). \quad (1)$$

Подобное представление с успехом применяется во многих технических исследованиях, являясь одним из наиболее важных общих соотношений.

Существенным этапом в экспериментальном определении функции (1) является выбор значений независимых переменных, при которых нужно осуществлять опыты. Набор этих значений представляет собой план эксперимента. Применение оптимального в некотором смысле плана эксперимента позволяет сократить число необходимых опытов, повысить точность обработки. В нашем случае число независимых факторов равно четырем, можно провести шестнадцать опытов, варьируя факторы на четырех уровнях. Соответствующий ортогональный план исследования 4-х факторов на 4-х уровнях, построенный на основе 2-х стандартных (упорядоченных) и 2-х латинских квадратов 4×4 [15] со значениями факторов для каждого опыта, приведен в табл. 1.

Табл. 1. План экспериментального исследования процесса сушки раствора пектина в вибрирующем слое инертных гранул

Table 1. Plan of the experimental study of pectin solution drying in vibrating fluid bed of the inert material

№ опыта	Удельная нагрузка гранул инертного материала	Скорость воздуха под решеткой	Начальная температура воздуха	Начальная концентрация раствора пектина по сухим веществам
	$\frac{G}{F_p}$, кг/м ²	V , м/с	t_l , °C	C_l , %
1	140	4,0	100	5
2	150	4,0	110	12
3	160	4,0	115	15
4	170	4,0	120	8
5	140	4,5	120	15
6	150	4,5	115	8
7	160	4,5	110	5
8	170	4,5	100	12
9	140	5,0	110	8
10	150	5,0	100	15
11	160	5,0	120	12
12	170	5,0	115	5
13	140	5,5	115	12
14	150	5,5	120	5
15	160	5,5	100	8
16	170	5,5	110	15

На рис. 2. представлены зависимости предельной производительности экспериментальной установки по испаренной влаге от удельной нагрузки гранул инертного материала $\frac{G}{F_p}$, скорости воздуха под решеткой V , начальной температуры воздуха t_l , начальной концентрации раствора пектина по сухим веществам C_l [16].

Без знания постоянной A , входящей в формулу (1), эти зависимости нельзя использовать непосредственно для определения предельной производительности по испаренной влаге, поскольку они представляют усредненные, а не дискретные значения. Отметим только, что при построении каждой зависимости мы использовали результаты всех 16 экспериментов, а каждая точка зависимости построена по результатам четырех опытов. Из рис. 2. видно, что все факторы, в исследуемом диапазоне значения параметров ($\frac{G}{F_p}$, V , t_l и C_l), оказывают примерно одинаковое влияние на предельную производительность по испаренной влаге. Большее влияние оказывает скорость воздуха. Увеличение скорости воздуха от 4 до 5,5 м/с, т.е. в 1,38 раза приводит к примерно такому же увеличению производительности по испаренной влаге. Окончательный выбор скорости следует сделать с учетом энергозатрат, требуемых для подачи воздуха в сушильную камеру вентилятором.

Увеличение температуры входящего воздуха от 100 до 120 °C также увеличивает напряжение по испаренной влаге. Однако выбор температурного режима должен быть сделан с учетом его влияния на качественные показатели сухого продукта – пектина. Для полученного пектина определяли его влажность, степень метоксилирования, молекулярную массу и прочность пектиновых студней. Также были измерены качественные показатели для исходного продукта, полученного по традиционной технологии.

Установлено, что пектин, высушенный при температуре отработанного воздуха 75 °C, после восстановления имеет прочность студня, молекулярную массу и степень

метаксилирования, отличающиеся от характеристик исходного продукта на величину не более ошибки измерения.

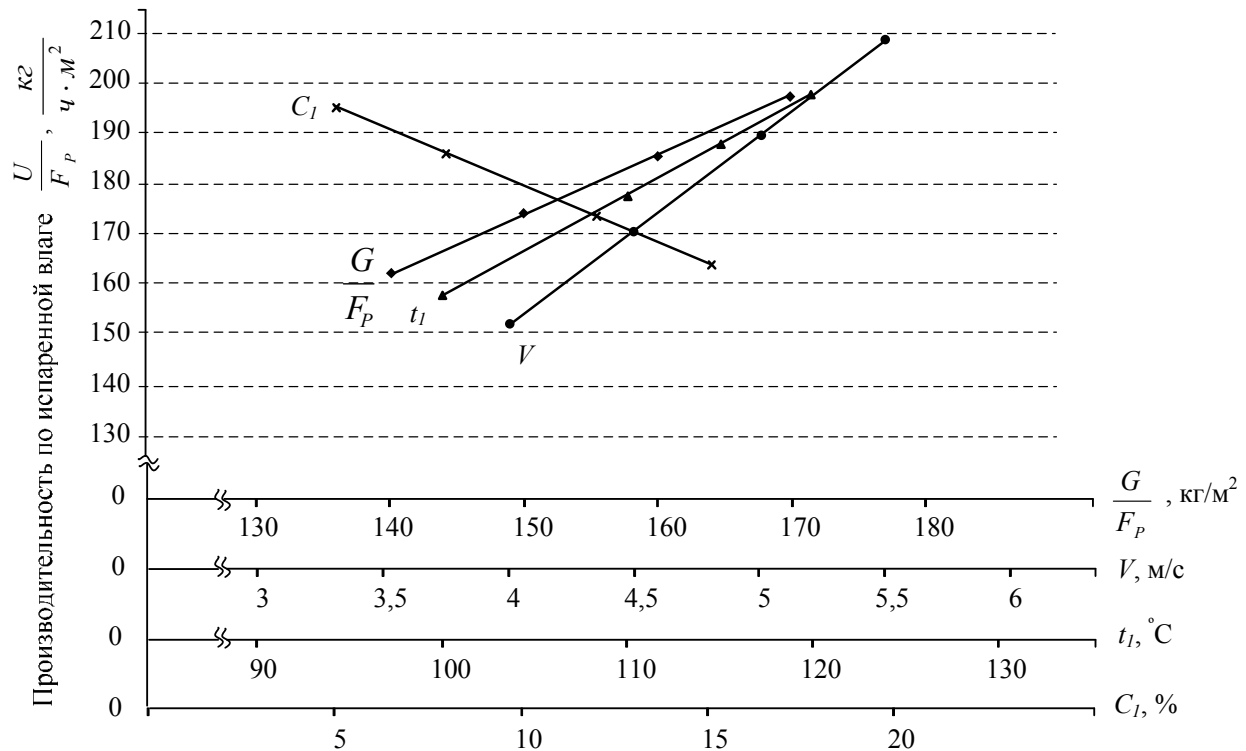


Рис. 2. Зависимости предельной производительности по испаренной влаге от независимых управляемых параметров процесса сушки раствора пектина в виброкипящем слое инертных гранул

Fig. 2. Dependences of ultimate evaporative rate on the independent controlled parameters of drying process of pectin solution in vibrating fluid bed of inert granules

Пектин, высушенный на инертных гранулах, имеет порошковую структуру со средним размером 0,3–0,7 мм.

Влажность получаемого сухого пектина в зависимости от температуры отработанного воздуха составляет от 5 до 9 %.

На основании проведенных экспериментов и обработки полученных данных было получено эмпирическое уравнение, связывающее предельную производительность по испаренной влаге с основными параметрами процесса (2):

$$\frac{U}{F_p} = 1,47 \times 10^{-7} \times (1,159 \frac{G}{F_p} - 0,23) \times (38,01 V - 0,026) \times (1,99 t_1 - 41,63) \times (-3,12 C_1 + 210,8) \quad (2)$$

где U – предельная производительность по испаренной влаге, кг/ч;

F_p – площадь газораспределительной решетки, м²;

G – масса инертных гранул, кг;

V – скорость воздуха под решеткой, м/с;

t_1 – начальная температура воздуха, °С;

C_1 – начальная концентрация раствора пектина по сухим веществам, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получено уравнение, связывающее предельную производительность экспериментальной установки по испаренной влаге с основными параметрами процесса сушки. Значимыми факторами, влияющими на скорость процесса сушки концентрата пектина и производительность установки, являются скорость воздуха перед решеткой, температура входящего воздуха, удельная нагрузка гранул инертного материала и начальная концентрация раствора пектина по сухим веществам. Для получения пектина высокого качества температура отработанного

воздуха в процессе сушки не должна превышать 75 °С.

Предварительные экономические расчеты показывают эффективность рассматриваемого способа сушки, которая достигается за счет уменьшения габаритов и металлоемкости установки (по сравнению с распылительной сушкой), а также вследствие исключения большей части затратных экологически небезопасных процессов традиционной технологии производства пектина.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Голубев, В. Н. Пектин: химия, технология, применение / В. Н. Голубев, И. П. Шелухина. – М.: Изд. Ак. Технологических Наук РФ, 1995. – 388 с.
- 2 Донченко, Л. В. Технология пектина и пектинопродуктов / Л. В. Донченко, Г. Г. Фирсов. – Краснодар: КГАУ, 2006. – 279 с.
- 3 Богус А. М. Осаждение пектина электрическим полем и его свойства / А. М. Богус, А. Д. Ачмиз, В. В. Кондратенко // Хранение и переработка сельхоз сырья. – 2004. – № 1. – С. 19–22.
- 4 Петровичев, О. А. Исследование кинетики распылительной сушки пектинового экстракта / О. А. Петровичев, И. Ю. Алексанян // Вестник АГТУ. – 2006. – № 6 (35). – С. 154–158.
- 5 Максименко Ю. А. Расчет температурных полей путем реализации модели тепломассопереноса при распылительной сушке пектинового экстракта / Ю. А. Максименко, А. Н. Степанович, Э. П. Дяченко // Вестник АГТУ. – 2006. – № 2 (43). – С. 202–204.
- 6 Васильев, В. Н. Технология сушки. Основы тепло- и массопереноса [Электронный ресурс]: учебник / В. Е. Куцакова, С. В. Фролов, В. Н. Васильев. – СПб.: ГИОРД. – 2013. – 222 с.
- 7 Федоренко, В. Ф. Ресурсосбережение в АПК: науч. изд. / В. Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2012. – 384 с.
- 8 Штильман, М. И. Технология полимеров медико-биологического назначения. Полимеры природного происхождения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М. И. Штильман, А. В. Подкорытова, С. В. Немцев, В. Н. Кряжев, ред.: М.И. Штильман. – 2-е изд. (эл.). М.: Лаборатория знаний, 2016. – 331 с.
- 9 Донченко, Л.В. Технология функциональных продуктов питания: учеб. пособие для вузов / Л. В. Донченко [и др.]; под общ. ред. Л. В. Донченко. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 176 с.
- 10 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги: ГОСТ 28561-90. Взамен ГОСТ 13340.3-77; ГОСТ 8756.2-82 – в части разделов 1, 2, 3 (кроме консервов из рыбы и морепродуктов); Введен 01.07.1991. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 14 с.
- 11 Арасимович, В. В. Методы анализа пектиновых веществ, гемицеллюлоз и пектолитических ферментов в плодах / В. В. Арасимович, С. В. Балтага, Н. П. Понамарева. – Кишинев: РИО АН МССР, 1970. – 84 с.
- 12 Пектин. Технические условия: ГОСТ 29186-91. – Введен с 01.01.1993. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 21 с.
- 13 Определение студнеобразующей способности пектина с помощью прибора для определения прочности пектиновых студней: МВИ МГ 094-2006 / З.В. Василенко, В. А. Седакова. – Утверждена ректором УО МГУП. – Могилев, 2005. – 8 с.
- 14 Василенко, З. В. Исследование процесса сушки яблочных выжимок в виброкипящем слое / З.В. Василенко, В.И. Никулин, А.И. Соловьев, Л.В. Азарова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 5. – С. 10–12.
- 15 Грачев, Ю. П. Математические методы планирования эксперимента / Ю. П. Грачев // Пищевая промышленность, 1978. – 197 с.
- 16 Юдина, С. Б. Технология продуктов функционального питания / С.Б. Юдина. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 280 с.

Поступила в редакцию 20.05.2019 г.

ОБ АВТОРАХ:

Зоя Васильевна Василенко, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, заведующий кафедрой технологии продукции общественного питания и мясопродуктов, Могилевский государственный университет продовольствия, e-mail: trorm@mgup.by

Владимир Иванович Никулин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, Могилевский государственный университет продовольствия.

Любовь Владимировна Лазовикова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии продукции общественного питания и мясопродуктов, Могилевский государственный университет продовольствия, e-mail: lyu-azarova@yandex.ru

Евгений Александрович Колюкович, старший преподаватель кафедры автоматизации технологических процессов и производств, Могилевский государственный университет продовольствия.

ABOUT AUTHORS:

Zoya V. Vasilenko, D. Sc. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, Honoured Scientist, Head of the Department of Technology of Food Processing and Meat Products, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: tpopm@mgup.by

Vladimir I. Nikulin, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Automation of Technological Processes and Production, Mogilev State University of Food Technologies.

Lyubov V., Lazovikova PhD (Engineering), Associate Professor of of Department of Technology of Food Processing and Meat Products, Mogilev State University of Food Technologies, e-mail: lyu-azarova@yandex.ru

Evgeny A. Kolyukovich, senior lecturer of of the Department of Automation of Technological Processes and Production Procedures, Mogilev State University of Food Technologies.