

УДК 664.83  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1\(59\)-62-68](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1(59)-62-68)

Поступила в редакцию 11.02.2023  
Received 11.02.2023

**А. М. Мазур<sup>1</sup>, Н. Н. Петюшев<sup>2</sup>, Д. И. Гоман<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СУХОГО КАРТОФЕЛЬНОГО ПЮРЕ**

**Аннотация.** Агломерация является технологическим процессом, в ходе которого возможно задать и улучшить гранулометрический состав исходного продукта (откалиброванные размеры и структура частиц). В статье приведены результаты по исследованию технологических особенностей ведения процесса агломерирования сухого картофельного пюре.

**Ключевые слова:** агломерация, сушка, пюре, картофель, овощи.

**A. M. Mazur<sup>1</sup>, N. N. Petyushev<sup>2</sup>, D. I. Goman<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus

## **RESEARCH OF THE AGGLOMERATION PROCESS IN THE PRODUCTION OF DRY POTATO PUREE**

**Abstract.** Agglomeration is a technological process during which it is possible to set and improve the granulometric composition of the initial product (calibrated particle size and structure). The article presents the results of the study of the technological features of the process of agglomeration of dry mashed potatoes.

**Keywords:** agglomeration, drying, mashed potatoes, vegetables.

**Введение.** Агломерация — это метод увеличения размеров частиц, сравнительно однородных по форме и величине с относительно высокой прочностью. На агломерации основаны порошковая металлургия, производство керамических изделий, медпрепаратов.

В пищевой промышленности агломерация — это процесс слипания мелких частиц друг с другом, в результате которого образуются более крупные соединения частиц, агломераты, что облегчает растворение порошка в воде [1].

Агломераты имеют целый ряд преимуществ перед теми же материалами в негранулированном виде. Преимущества агломерированных продуктов заключаются в их хорошей восстанавливаемости, сыпучести, способности к дозировке, содержании незначительного количества пыли. Они имеют лучший внешний вид и обладают лучшими свойствами в отношении дисперсности, растворимости, смачиваемости. Применение агломерации материалов значительно улучшает условия труда, уменьшает потери их с пылью при фасовке, упаковке, устраняет склонность к слеживаемости при хранении и комкованию при восстановлении, обеспечивает возможность получения комбинированных и сложных продуктов, состоящих из нескольких компонентов, сохраняющих свои свойства в течение длительного времени, позволяет автоматизировать процесс дозирования и фасовки [2].

Известно несколько способов ведения процесса агломерации.

Один из них заключается в воздействии теплоносителя на порошкообразный продукт, увлажненный различными способами — водой, паром или их смесью, либо самим теплоносителем — горячим влажным воздухом.

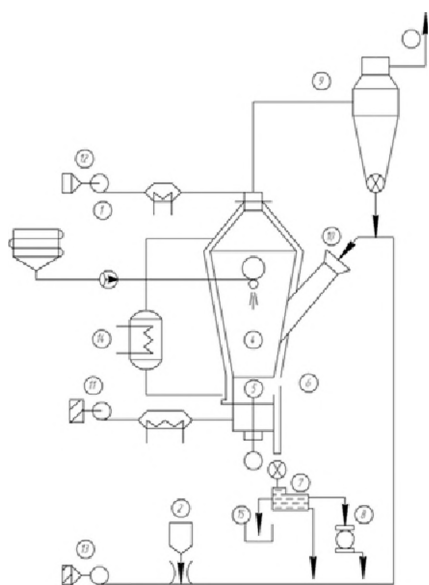
Процесс агломерации осуществляют в плотном или подвижном слое на специальных агломерационных установках непрерывного действия, совмещающих процессы агломерирования, сушки и охлаждения продуктов.

Одна из таких агломерационных установок германской фирмы «Anhydro» с псевдооживленным слоем представляет универсальный агрегат, позволяющий применять 2 способа агломерации: капельное агломерирование, при котором жидкость распыляют в слой порошка; агломерирование конденсацией, при котором используют смесь пара и горячего воздуха.

Фирма «Anhydro» применяет установку с вихревым слоем для сушки и гранулирования одного или нескольких жидких материалов, смеси порошковых и жидких материалов, гранулирования порошкового материала с помощью жидкого связующего вещества.

Установка с вихревым слоем служит для одновременного смешивания и гранулирования порошковых и жидких материалов в агломераты.

Схема установки представлена на рисунке 1.



1. Подача жидкости.
2. Подача порошка.
3. Сопло для распыления.
4. Камера флюидизации.
5. Смеситель.
6. Перфорированная пластинка.
7. Сито для просеивания.
8. Дробилка.
9. Циклонный сепаратор.
10. Входное отверстие для порошка.
11. Подача воздуха.
12. Дополнительное отверстие для воздуха.
13. Подача воздуха.
14. Нагреватель воздуха.
15. Готовый продукт.

Рис. 1. Схема распылительной сушилки фирмы «Anhydro»  
Fig. 1. Schematic diagram of an Anhydro spray dryer

Жидкость распыляют на порошкообразный продукт, получаемые агломераты высушивают в псевдооживленном слое, перемешивают и просеивают. Крупную фракцию агломератов измельчают на дробилке, смешивают с мелкой фракцией и вновь вводят в камеру. Средняя фракция агломератов является готовым продуктом. Теплоноситель входит в камеру с псевдооживленным слоем и проходит через всю установку в виде спирального воздушного потока. Спиральный воздушный поток служит для предотвращения наслоения продукта на внутренних стенках камеры и эффективной сушки.

Известны такие способы, предусматривающие образование агломератов путем распыления друг на друга растворов различной вязкости. Распыление осуществляют с помощью нескольких форсунок или дисков

**Результаты и их обсуждение.** Исследования по агломерированию сухого картофельного пюре проводили на установке «Strea-1» швейцарской фирмы «Aeromatic». Конструкция установки позволяет осуществлять операции глазирования посредством орошения материала различными растворами, смешивания компонентов, агломерирования — увлажнением, сушку. Установка «Strea-1» лабораторного типа, работающая по принципу кипящего слоя; режим работы — периодический. В комплект установки входит емкость для загрузки и обработки исследуемого материала массой 0,2-2 кг, насосное устройство для подачи увлажняющей жидкости с плавной регулировкой в диапазоне 0,08-0,8 мл/с, вентиляторы для воздуха, подаваемого для создания кипящего слоя производительностью до 0,033 м<sup>3</sup>/с, нагревательное устройство для подогрева воздуха с регулировкой от 20 до 110 °С, автоматическое фильтрационное устройство для очистки воздуха от остатков продукта и пыли на выходе из установки, компрессор для подачи сжатого воздуха давлением 0,04-0,05 МПа на

распыление увлажняющей жидкости, часовой механизм — для регулировки периода работы установки.

Принципиальная схема установки «Strea-1» представлена на рис. 2.

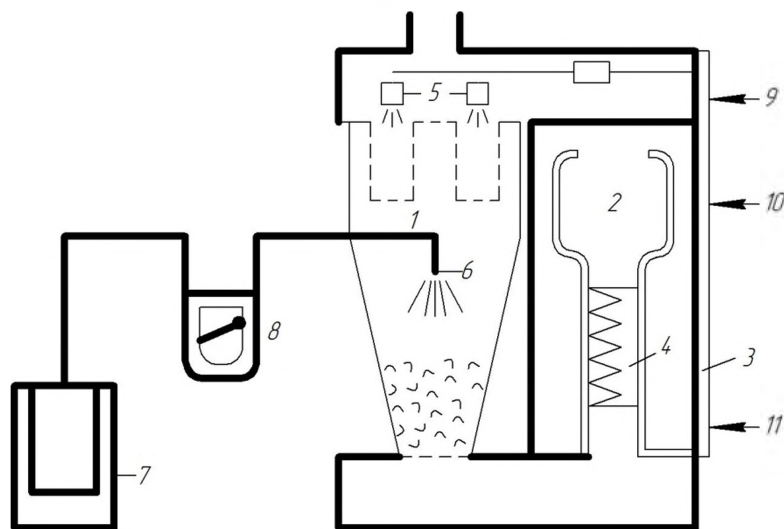


Схема лабораторной установки «Стреа-1»

1 — продуктовая емкость; 2 — электровентилятор; 3,5 — фильтры; 4 — воздухоподогреватель; 6 — форсунка; 7 — емкость для орошаемой жидкости; 8 — вариатор расхода жидкости; 9 — вариатор расхода воздуха; 10 — регулятор температуры; 11 — регулятор времени

Рис. 2. Принципиальная схема установки «Strea-1»

Fig. 2. Schematic diagram of the installation «Strea-1»

В качестве объекта исследований использовали сухое картофельное пюре с размером частиц менее 0,8 мм, полученное по совмещенной технологии, и добавки: казеинат натрия, сыворотку молочную сухую, соевый белок, подсолнечный белок, сухой гидролизат из мойвы, яичный порошок, каротин, соль. В качестве увлажняющей жидкости использовали воду, а также раствор цельного или обезжиренного молока в воде.

Процесс агломерации на установке осуществляли следующим образом. Полуфабрикат загружали в продуктовую емкость 1. Регулятором 2 устанавливали время ведения процесса. Вариатором 9 устанавливали расход воздуха, необходимого для создания кипящего слоя смеси. Регулятором 10 устанавливали температуру процесса агломерирования. Включали установку. Полуфабрикат в течение некоторого времени перемешивался воздухом, подаваемым под перфорированную решетку продуктовой емкости 1. Затем включали подачу орошаемой жидкости, а расход ее устанавливали вариатором 8.

Воздух, используемый для создания кипящего слоя продукта, засасывался из помещения посредством вентилятора 2, очищался на фильтре 3 и подогревался воздухоподогревателем 4. Отработанный воздух на выходе из установки очищался на фильтре 5, оснащенном автоматическим продувочным приспособлением, которое периодически стряхивает пыль, оседающую на ткани фильтров, в зону кипения. Как только расходовалось необходимое количество орошаемой жидкости, отключали подачу ее, а полученный агломерат досушивали в кипящем слое, не выгружая из продуктовой емкости. Затем отключали подачу воздуха, выгружали полученный агломерат из установки и охлаждали в течение 20-30 мин в холодильной камере при температуре 8-12 °С.

Добавки и соль смешивали с сухим картофельным пюре. Сухое молоко цельное и обезжиренное растворяли в воде при температуре 40-45 °С. Массовая доля сухих веществ в растворе составляла 40 %, температура 20 °С, масса продукта, загружаемого в камеру во всех опытах, составляла 0,2 кг.

Сравнительные результаты исследований показали возможность применения в качестве увлажняющей жидкости как чистой воды, так и раствора молока в воде. Агломерированные частицы, полученные при увлажнении водой, непрочные и рассыпаются при малейшем

механическом воздействии, поэтому обязательным условием должно быть наличие молока в составе продукта, являющегося связующим компонентом.

Изучали влияние количества раствора обезжиренного молока на степень увлажнения продукта при комнатной температуре ( $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Опыты проводили при расходе воздуха  $0,013\text{--}0,015\text{ м}^3/\text{с}$ , расходе раствора молока  $0,16\text{--}0,25\text{ мл/с}$ , массовой доле сухих веществ молока в растворе — 40%.

Данные исследований приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Влияние увлажнения продукта на процесс агломерирования**  
**Table 1. Effect of product moisture on the agglomeration process**

Продолжительность процесса, с	Влажность продукта, %	Количество напыляемого раствора на продукт, мл	Характеристика процесса
<b>Расход увлажняющего раствора 0,25 мл/с</b>			
0	10	-	-
$0,6 \cdot 10^2$	13,5	15	появляется агломерат
$1,2 \cdot 10^2$	16,4	30	агломерат образовался
$1,8 \cdot 10^2$	19,2	45	агломерат образуется
$2,4 \cdot 10^2$	21,6	60	появился влажный комок
$3,0 \cdot 10^2$	23,7	75	комок увеличивается
$3,6 \cdot 10^2$	25,5	90	комок увеличивается
$4,2 \cdot 10^2$	27,3	105	сплошной влажный ком
<b>Расход увлажняющего раствора 0,16 мл/с</b>			
0	10	-	-
$0,6 \cdot 10^2$	12,6	10	появился агломерат
$1,2 \cdot 10^2$	14,5	20	агломерат образуется
$1,8 \cdot 10^2$	16,5	30	агломерат образуется
$2,4 \cdot 10^2$	18,3	40	агломерат образуется
$3,0 \cdot 10^2$	20,0	50	агломерат образуется
$3,6 \cdot 10^2$	21,5	60	появился влажный комок
$4,2 \cdot 10^2$	22,9	70	50% агломерата скомковано

Анализируя полученные данные, видно, что при увлажнении продукта раствором молока при расходе молока  $0,25\text{ мл/с}$ , происходит равномерное увлажнение продукта и образование агломерированных частиц в течение  $1,8 \cdot 10^2$  —  $2,4 \cdot 10^2$  с подачи раствора, а затем переувлажненный материал начинает скомковываться, образуя сплошной влажный ком.

Исследовали процесс увлажнения смеси при температуре воздуха, подаваемого в зону кипения, в диапазоне  $30\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$  с интервалом  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом определяли количество агломерированных частиц размером более  $1\text{ мм}$ . Одновременно исследовали процесс сушки полученного агломерата. Опыты проводили при расходе раствора молока  $0,25\text{ мл/с}$ , массовой доле сухих веществ — 40 %.

Результаты исследований представлены в табл. 2 и 3.

**Таблица 2. Зависимость количества агломерированных частиц от продолжительности процесса агломерации и сушки при температуре  $30\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$**   
**Table 2. Dependence of the number of agglomerated particles on the duration of the agglomeration and drying process at a temperature of  $30\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Продолжительность, с		Количество агломерированных частиц размером более $1\text{ мм}$ , %							
увлажнения	сушки	Температура обработки, $^{\circ}\text{C}$							
		30	40	50	60	70	80	90	100
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$0,6 \cdot 10^2$	-	41	39	38	34	30	32	21	18
$1,2 \cdot 10^2$	-	68	70	76	75	64	60	50	46
$1,8 \cdot 10^2$	-	100	98	99	100	96	95	76	72
$2,4 \cdot 10^2$	-	100	100	100	100	100	97	92	90
-	$3,0 \cdot 10^2$	100	100	100	100	100	94	90	86
-	$3,6 \cdot 10^2$	96	97	98	98	98	90	88	80
-	$4,2 \cdot 10^2$	94	95	96	96	95	88	76	74

Анализ кривых, представленных на графиках (рис. 3, 4) показывает, что процесс агломерации сухого картофельного пюре начинается при увеличении влажности исходного продукта на 2-3%. При 20% влажности продукт полностью агломерирован. Применение температуры ниже 50 °С нежелательно, т.к. при этом возрастает продолжительность сушки до  $6,0 \cdot 10^2$  —  $7,2 \cdot 10^2$  с. Температура 90-100 °С способствует более быстрой сушке, но при этом часть агломерированных частиц разрушается. Наиболее эффективно происходит процесс агломерации и сушки при температуре воздуха 50-80 °С в течение  $4,2 \cdot 10^2$  с.

Таблица 3. Изменение влажности продукта в процессе увлажнения и сушки при температуре 50-100 °С

Table 3. Change in product moisture in the process of moistening and drying at a temperature of 50-100 °C

Продолжительность процесса, с		Влажность продукта, %					
увлажнения	сушки	Температура обработки, °С					
		50	60	70	80	90	100
0	-	10	10	10	10	10	10
$0,6 \cdot 10^2$	-	13,2	13,0	12,4	12,2	12,2	12,0
$1,2 \cdot 10^2$	-	15,6	15,2	13,7	13,6	13,3	14,0
$1,8 \cdot 10^2$	-	18,4	17,4	15,5	15,2	14,8	15,4
$2,4 \cdot 10^2$	-	19,7	19,0	16,8	16,7	16,2	16,2
-	$3,0 \cdot 10^2$	17,5	16,6	15,0	15,0	14,8	14,8
-	$3,6 \cdot 10^2$	14,6	14,0	13,2	13,0	12,5	12,0
-	$4,2 \cdot 10^2$	11,8	11,2	10,6	10,9	10,6	10,2

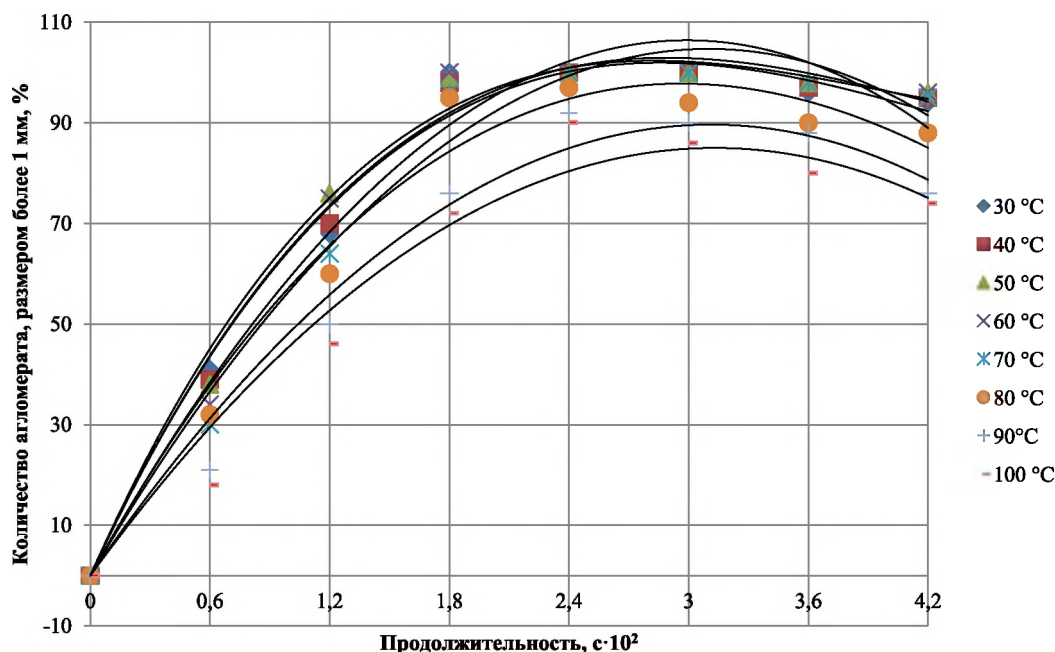


Рис. 3. Зависимость количества агломерированных частиц от продолжительности процесса агломерации и сушки при температуре 30-100 °С

Fig. 3. Dependence of the number of agglomerated particles on the duration of the agglomeration and drying process at a temperature of 30-100 °C

Охлаждение полученного агломерата осуществляли в холодильной камере при температуре 8-12 °С до температуры не более 20 °С.

В результате проведенных исследований установлены режимы ведения технологического процесса получения агломерированного сухого картофельного пюре на установке «Strea-1» (табл. 4).

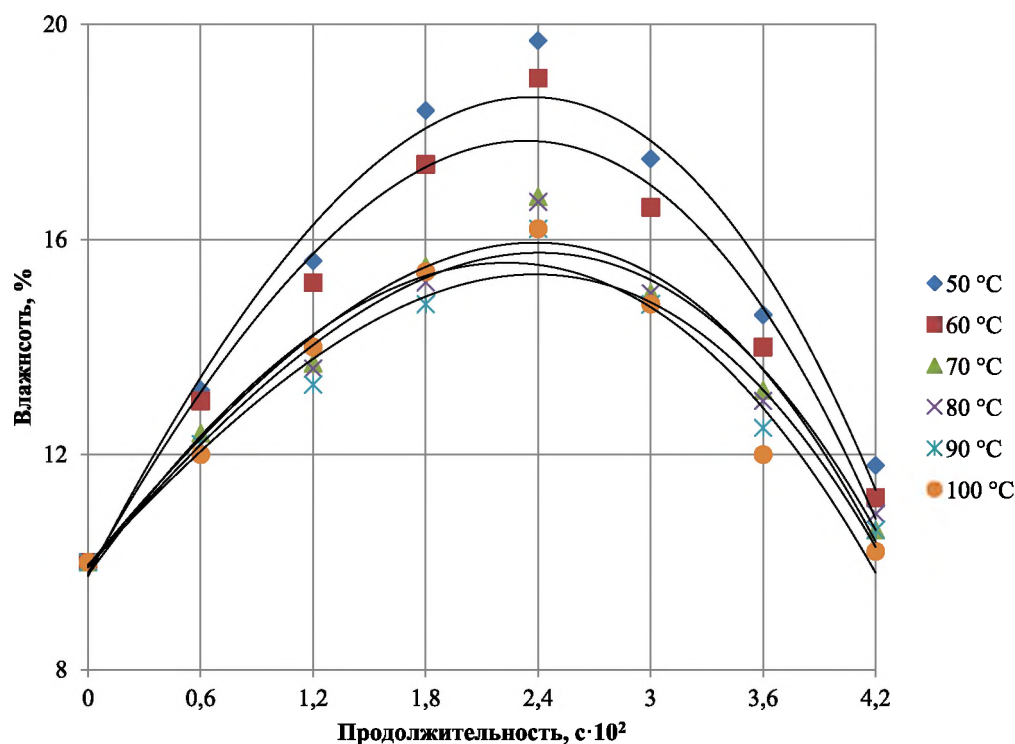


Рис. 4. Изменение влажности продукта в процессе увлажнения и сушки при температуре 50-100 °С

Fig. 4. Change in product moisture in the process of moistening and drying at a temperature of 50-100 °С

Таблица 4. Режимы ведения процесса получения агломерированного сухого картофельного пюре

Table 4. Modes of conducting the process of obtaining agglomerated dry mashed potatoes

Температура воздуха, °С	на входе 50-80 на выходе 20-40
Расход воздуха (для создания кипящего слоя), м <sup>3</sup> /с	0,0013-0,015
Давление сжатого воздуха на распыление, Мпа	0,04-0,06
Расход раствора для увлажнения 1 кг продукта, мл/с	0,8-1,25
Продолжительность процесса агломерирования и сушки, с	3·10 <sup>2</sup> -4,2·10 <sup>2</sup>
Охлаждение	
температура воздуха, °С	8-12
температура продукта, °С	не более 20

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлена возможность получения агломерированного сухого картофельного пюре.

В качестве связующего компонента частиц картофельного пюре целесообразно использовать раствор молока. Сравнительные результаты исследований показали возможность применения как чистой воды, так и раствора молока в воде. Агломерированные частицы, полученные при увлажнении водой, непрочные и рассыпаются при малейшем механическом воздействии.

Процесс агломерации сухого картофельного пюре наблюдается при достижении влажности смеси 13%, при достижении влажности обрабатываемого продукта в 21% наблюдается начало процесса комкообразования.

Установлены рациональные технологические режимы получения агломерированного сухого картофельного пюре: расход раствора для увлажнения 1 кг продукта — 0,8-1,25; температура сушки — 50-80 °С; Продолжительность процесса агломерирования и сушки — 300-420 секунд.

**Список использованной литературы**

1. Пищевая промышленность России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sfera.fm/>. — Дата доступа: 18.01.2023.
2. Агломерированный пищевой порошок [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://translated.turbopages.org/проxy\\_u/en-ru.ru.7d71ea32-63f352bb-20af7300-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Agglomerated\\_food\\_powder](https://translated.turbopages.org/проxy_u/en-ru.ru.7d71ea32-63f352bb-20af7300-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Agglomerated_food_powder). Дата доступа: 18.03.2023.

**References**

1. Pishchevaya promyshlennost Rossii (Food industry in Russia). Available at: <https://sfera.fm/> (accessed 18 January 2023).
2. Aglomerirovannuyu pishchevoy poroshok (Agglomerated Food Powder). Available at: [https://translated.turbopages.org/проxy\\_u/en-ru.ru.7d71ea32-63f352bb-20af7300-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Agglomerated\\_food\\_powder/](https://translated.turbopages.org/проxy_u/en-ru.ru.7d71ea32-63f352bb-20af7300-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Agglomerated_food_powder/) (accessed 18 January 2023)

**Информация об авторах**

*Мазур Анатолий Макарович*, доктор технических наук, профессор кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220023, г. Минск, Республика Беларусь).  
E-mail: 6557206@mail.ru.

*Петюшев Николай Николаевич*, кандидат технических наук, начальник отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).  
E-mail: petushev@belproduct.com

*Гоман Дмитрий Иосифович*, научный сотрудник отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).  
E-mail: npc.goman@gmail.com

**Information about authors**

*Mazur Anatoly Makarovich*, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair of technologies and technical support of agricultural products processing of the educational establishment "Belarusian State Agrarian Technical University" (Nesavisimosti Avenue, 99, 220023, Minsk, Republic of Belarus).  
E-mail: 6557206@mail.ru.

*Petyushev Nikolai Nikolaevich*, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Technologies for Products from Root and Tuber Crops of the RUE "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food" (29, Kozlova St., 220037, Minsk, Republic of Belarus).  
E-mail: petushev@belproduct.com

*Goman Dmitry Iosifovich*, Researcher of the Department of Technology of Products from Root and Tuber Crops, of the RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (29, Kozlova St., 220037, Minsk, Republic of Belarus).  
E-mail: npc.goman@gmail.com