

УДК [664.236-436.1: 664.71-912]:  
66.096.5  
DOI:10.37493/2307-910X.2022.2.11

А.А. Покопцева [A.A.Pokoptseva],  
И.Ю. Алексанян [I.Yu Aleksanyan],  
А.Х.-Х Нугманов [A.H.-H. Nugmanov],  
Е.В Фоменко [F E.Vomenko],  
Ю.А. Максименко [Yu.A.Maksimenko]

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО  
МЕТОДА СУШКИ ГРАНУЛ  
КЛЕЙКОВИНЫ ПШЕНИЧНОЙ В  
КИПЯЩЕМ СЛОЕ И УСТАНОВКА ДЛЯ  
ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

**SUBSTANTIATION OF A RATIONAL  
METHOD FOR DRYING WHEAT GLUTEN  
GRANULES IN A FLUIDIZED BED AND  
INSTALLATION FOR ITS  
IMPLEMENTATION**

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»/ FSBEI HE «Astrakhan State Technical University»*

**Аннотация**

*Объектом исследования в статье являются предварительно замороженные гранулы из клейковины, которая вырабатывается из пшеничного зерна и используется в виде порошка в пищевой промышленности в качестве улучшителя пекарных параметров муки. На основе сравнительного анализа способов обезвоживания замороженных гранул пшеничной клейковины с поверхностной сухой корочкой выбран рациональный способ их сушки в кипящем слое. В варианте активного гидродинамического режима в агрегате для сушки интенсифицируется процедура обезвоживания без заметного уменьшения экономической эффективности его функционирования и обеспечиваются высокие качественные показатели готовой продукции с заданной итоговой влажностью, что обусловлено специфическими условиями контакта гранул с теплоносителем. Опираясь на изучение достоинств и недостатков известных установок для сушки клейковинных гранулированных продуктов, рекомендована рациональная конструкция установки, предназначенная для сушки клейковинных гранул. В статье приведены обоснования по применению оригинальной сушильной установки непрерывного действия, которая благодаря своим конструктивным особенностям, может быть пригодна не только для осуществления обезвоживания исследуемого гранулированного полуфабриката, но и для сушки подобных продуктов.*

**Ключевые слова:** пшеничная клейковина, гранулы, сушка, псевдооживление, сушильные установки.

**Abstract**

*The object of research in the article is pre-frozen granules of gluten, which is produced from wheat grain and is used in the form of a powder in the food industry as an improver for the baking parameters of flour. Based on a comparative analysis of methods for dehydrating frozen wheat gluten granules with a dry surface crust, a rational method for drying them in a fluidized bed was chosen. In the variant of the active hydrodynamic mode in the drying unit, the dehydration procedure is intensified without a noticeable decrease in the economic efficiency of its operation and high quality indicators of the finished product with a given final moisture content are provided, which is due to the specific conditions of contact between the granules and the heat carrier. Based on the study of the advantages and disadvantages of known plants for drying gluten granular products, a ration-*

*al design of the plant for drying gluten granules is recommended. The article provides justifications for the use of the original continuous dryer, which, due to its design features, can be suitable not only for dehydrating the investigated granular semi-finished product, but also for drying similar products.*

**Key words:** wheat gluten, granules, drying, fluidization, dryers.

### **Введение**

Поскольку Российская Федерация имеет очевидное лидерство по пшеничной и целому ряду зерновых культур, при реализации оригинальных подходов к комплексной обработке пшеницы, возможно укрепить ее продовольственную безопасность, в частности, путем выработки нативной клейковины в виде порошка [1], для совершенствования технологии которой необходимо проводить ее обезвоживание без разрушения белковых составляющих для минимального нарушения ее нативных параметров, в частности, водоудерживающей способности (не ниже 150%; т.е. 1,5 г влаги на 1 г клейковины), цветовой гаммы (от светло-коричневой до светло-желтой). Нативную форму клейковины нельзя выделить посредством «сухих операций», так как надо скомпоновать водно-мучную суспензию, определенным образом механически на нее воздействовать для формирования упруго-вязкой текстуры [2].

Сушка – одна из самых распространенных процессов в пищевой технологии, поскольку служит итоговым и наиболее энергозатратным этапом ряда технологий. При изучении и совершенствовании процедуры влагоудаления и ее технического обеспечения преимуществом является выбор влияющих на ее длительность и интенсивность факторов [3]. С целью повышения технико-экономических параметров сушилок очевидным является необходимо увеличивать скорость переноса тепла и вещества и обмена ими на границе раздела фаз. В современных условиях имеются существенные достижения по решению данной задачи. Широко распространены установки с активной гидродинамической обстановкой, которую подчас можно обеспечить путем применения высокоскоростных потоков газовых сред, чему, однако сопутствует увеличение газовых и воздушных расходов и следственно энергоемкости аппаратов. Снижение расхода сушильного агента при организации кипящего слоя при обезвоживании служит важной задачей при проектировании агрегатов для сушки [4, 5].

Несмотря на то, что сушильная техника довольно конструктивно проста, ее высокая энергоемкость требует выявления рациональных параметров ведения процесса влагоудаления для оптимизации термического КПД и повышения экономической эффективности операции. В связи с этим и была поставлена цель данного исследования, состоящая в выборе рациональной технологии сушки для объекта исследования и ее п технического оформления.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования является пшеничная клейковина в виде гранул с предварительной подсушенной поверхностной корочкой и средней по объему материала влажностью 0,47% [2].

Для проведения операции выработки высушенных пищевых материалов, подобных объекту исследования наиболее пригодными считаются барабанные сушилки или аппараты с взвешенным слоем продукта. Изготовители данного оборудования находятся в жесткой конкуренции, и в итоге покупатель может приобрести сушильное оборудование, предлагаемое изготовителем, которое зачастую не соответствует параметрам нужного ему продукта и имеющихся производственных площадей. Важными аспектами при определении вида сушильного агрегата служат технологическая эффективность и приближенность конструктивного оформления техники к нуждам соответствующей отрасли, при этом определяющими критериями служат упрощенность и технологичность конструктивного оформления, малогабаритность, максимальное исключение дефицитных материалов для изготовления, максимальная унификация узлов и деталей. К тому же, согласно основным требованиям к машиностроительной продукции, сушилки должны обладать по возможности сниженной металлоем-

костью, повышенной степенью автоматизации и требовать минимальных производственных площадей. Кроме того при выборе вида аппарата важно обеспечить заданные качественные показатели готового материала.

Существует перечень рекомендаций и методических подходов к определению рационального метода обезвоживания и типа аппарата для него [5, 6], которые, как правило, обуславливают вид сушилки, увязанный с параметрами объекта сушки. По данному принципу обычно классифицируют сушильные установки [7, 8, 9, 10]. По такому оптимизационному принципу сформированный в НИИХиммаше метод предварительного определения типовой сушилки с учетом производственного масштаба, агрегатного состояния объекта обезвоживания, его технологических параметров, кинетики процесса влагоудаления и др. Опираясь на анализ эксплуатации типовых сушилок в разных промышленных сферах по данному методу выявлены варианты сушильных установок для нашего случая, таких как агрегаты барабанного типа и с взвешенным слоем материала и определена ориентированность осуществления исследований по определению режимных параметров влагоудаления. Резонность определенной направленности обусловлена к тому же анализом патентной, научной и технической литературы.

Отталкиваясь от обоснования рационального способа сушки исследуемых гранул в кипящем слое, анализа конструкций установок, предназначенных для сушки гранулированных продуктов, а также результатов авторских исследований, была разработана сушильная установка для обезвоживания клейковинного полуфабриката с целью получения порошковой продукции, имеющей рациональные потребительские свойства при снижении затрат энергии на этот процесс.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Приведем положительные стороны барабанной сушильной установки ротационного типа, обладающей упрощенную и надежную схему управления процессом. В нормативных производственных условиях частота вращения барабанного узла составляет 3,5...4,5 об./мин, причем поступление исходного продукта гибко варьируется с учетом реальной технологической обстановки (исходного влагосодержания, дисперсности частиц, воздействия температуры теплоносителя и др.). В принципе установки барабанного типа полностью автоматизированы, к примеру, определенный программный продукт перманентно фиксирует влагосодержание исходного материала и в автоматическом режиме регулирует параметры операции.

Итак, установка барабанного типа самостоятельно настраивается с учетом массы и влагосодержания исходного продукта для обеспечения рациональных режимных параметров без вмешательства оператора поступления продукта. Необходимо учесть, что нечувствительность данной установки к подаче комков и крупных кусков, а также наименьшее количество техники для подогрева теплоносителя.

Простая конфигурация сушильной установки предполагает также ее быстрый монтаж и запуск в эксплуатацию, дешевые расходные материалы и обслуживание. При использовании этого вида сушилки потребление электрической энергии будет более низким в сравнении с агрегатами, использующими ожижение влажного материала, так как нет необходимости поддерживать его во взвешенном состоянии вентиляторами. Сбалансированная конструкция минимизирует вибрации и потребление электроэнергии для вращения барабана, при этом обеспечивается постоянная норма его потребления благодаря более широкому диапазону рабочего режима. В барабанных сушилках можно реализовывать не только сушку и охлаждение материала, но также его сухую очистку и прокачивание.

Недостатки ротационной барабанной сушилки заключаются в том, что это оборудование обладает значительной массой из-за толщины стенки барабана; его небезопасно монтировать на большой высоте, а при использовании нержавеющей стали данные установки становятся еще и дорогостоящими. Сушку с одновременным охлаждением можно производить в одном агрегате (сушилка с двойным барабаном), однако охлаждение возможно только до

температур, близких к 60°C, вследствие невозможности утилизации подогретого воздуха с зоны охлаждения материала во внешнем барабане сушилки, так как он смешивается с влажным отработанным воздухом с внутреннего барабана и насыщен влагой. Если нужно более глубокое охлаждение, то применяется дополнительный охлаждающий барабан.

Проанализируем преимущества сушилки, в которой высушиваемый материал находится в псевдооживленном состоянии. Поперечный поток воздуха по отношению к влажному материалу обеспечивает интенсивный перенос энергии воздуха в массу материала, что предполагает маленькие габариты сушилки, при этом происходит эффективное «обеспыливание» материала во время сушки, так как с сушильным потоком удаляются пылевые взвеси. В сушилке не предусмотрено наличие лопастей, материал как бы «зависает» в воздухе, поэтому отмечается низкое истирание используемого оборудования, вследствие чего стенки рабочей камеры аппарата тонкие, соответственно, у него сравнительно малый вес и цена.

Так же, как и в барабанных сушилках, здесь можно производить сушку и охлаждение в одном агрегате, причем достигается более глубокое охлаждение материала, если подавать в камеру охлаждающий воздух. Охлаждающий воздух, как правило, подается в последнюю секцию сушилки (при наличии соответствующего дополнительного оборудования); он нагревается, но не смешивается с отработанным воздухом с сушильных секторов и не насыщается влагой. При изменении рабочих параметров в сушилке данного типа можно реализовать не только влагоудаление, но и грануляцию, увлажнение, обеспыливание и классификацию различных материалов.

Недостатки сушилки, в которой высушиваемый материал находится в псевдооживленном состоянии, заключаются в высокой чувствительности от максимально допустимого размера частиц, изменений размера и гранулометрического состава входящих в камеру частиц, дебита подачи материала и его влажности; сложной наладке процесса и медленном вхождении в режим после остановки. Агрегат производства горячего воздуха расположен отдельно и оснащен очень мощной воздуходувкой (для оживления материала), что влечет высокое потребление электрической энергии и необходимость дополнительного места для размещения агрегата для подготовки воздуха. Система обеспыливания выхлопного воздуха несколько больше по объему, а в случае утилизации охлаждающего воздуха – сложнее по конструкции, так как охлаждающий воздух надо фильтровать в отдельном контуре. Следует отметить, что осуществлять монтаж сушилки целесообразно в закрытом помещении.

Рекомендации по выбору вида сушилки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендации по выбору сушилки/ Table 1 - Recommendations for choosing a dryer

<b>Условия выбора сушилки</b>	
<b>Ротационной барабанной</b>	<b>В кипящем слое</b>
Гранулометрический состав распределен нерегулярным образом или его диапазон очень широкий; в исходном материале встречаются частицы, эквивалентный размер которых больше 10 мм	Материал термолabileльный и хрупкий, его гранулометрический состав стабильный; размер частиц менее 10 мм, требуется обработка в "шадящем" режиме (например, сушка влажных гранул)
В производстве ожидаются быстрые и/или значительные изменения параметров влажного материала в зависимости от реальных сложившихся обстоятельств	В производстве сухих продуктов параметры влажного материала не меняются даже в зависимости от реальных сложившихся обстоятельств
Нет необходимости охлаждать материал	Необходимо охлаждать материал
Сушильное оборудование должно быть установлено на открытом воздухе	Сушильное оборудование должно быть установлено в специальном помещении
Низкая квалификация обслуживающего персонала	Средняя квалификация обслуживающего персонала

Проведя эмпирические исследования и получив зависимость удельного выхода сухого продукта от влияющих факторов (определяющим из которых являются габариты гранул и, как следствие, их масса), можно определить рациональные габаритные размеры, найти оптимум при взаимно противоположном влиянии двух параметров: с одной стороны, при снижении габаритов повышается скорость влагоудаления, а с другой – снижается удельная произ-

водительность по готовой продукции. Следует учесть, что при увеличении массы гранулы растет критическая скорость псевдооживления, а потому увеличиваются энергозатраты на подачу сушильного агента.

В случае применения обезвоживания в барабанных сушилках зависимость от влияющих факторов уменьшается ввиду принудительной организации перемешивания гранул, однако в таком варианте повышается вероятность истирания гранул при взаимном их контакте, а также образования пыли, которая может уноситься с сушильным агентом, что приводит к неминуемым материальным потерям, загрязнению окружающей среды и требует более совершенной системы пылеулавливания и аспирации. Кроме того, при истирании удаляется в начале обезвоживания поверхностный подсушенный слой гранул, следовательно, повышается адгезионная способность их поверхностей и повышается вероятность агломерации гранул между собой. Данный эффект усиливается тем, что в начальный период сушки наблюдается размораживание оголенного поверхностного слоя гранулы, что недопустимо.

В качестве сушильного агента можно использовать кроме воздуха инертный, углекислый, дымовой и другие газы, однако воздушный теплоноситель является наиболее доступным и дешевым. Следует отметить, что в случае необходимости исключения контакта объекта сушки с кислородом воздушный или дымовой теплоноситель не используется, но в нашем варианте проведения экспериментальных исследований таких ограничений нет.

В результате исследований были найдены критические скорости псевдооживления  $\omega_{кр}$  и уноса частиц  $\omega_{ун}$  посредством визуальной оценки состояния слоя, потери давления оживляющего агента в слое  $\Delta P$ , порозность слоя в состоянии  $\varepsilon_0$  и псевдокипящем состоянии  $\varepsilon$ . При проведении опытной серии менялась скорость оживляющего агента  $\omega$ , м/с, влажность  $W$ , кг/кг, и удельная нагрузка на газораспределительную решетку  $M$ , кг/м<sup>2</sup>. Результаты представлены в таблицах 2 и 3, а также на рисунках 1 и 2.

Таблица 2 – Усредненные опытные данные по критическим скоростям оживления гранул/ Table 2 - Averaged experimental data on the critical rates of liquefaction of granules

Диаметр гранул $d$ , мм	Длина гранул $l$ , мм	$\omega_{кр1}$ , м/с	$\omega_{кр2}$ , м/с	$\omega_{ун}$ , м/с
4	10	7,2	7,4	17,5
4	15	7,3	7,8	18,0
6	10	9,3	9,6	18,8
6	15	9,5	9,9	18,9
8	15	10,3	10,6	19,2

Таблица 3 – Усредненные опытные данные по порозности гранул/ Table 3 - Averaged experimental data on the porosity of the granules

Диаметр гранул $d$ , мм	Длина гранул $l$ , мм	$\varepsilon_0$	$\varepsilon$	$k$
4	10	0,791	0,970	6,96
4	15	0,820	0,960	4,50
6	10	0,733	0,946	4,94
6	15	0,769	0,940	3,85
8	15	0,788	0,934	3,21

Следует иметь в виду, что в таблице 3 приведена величина параметра расширения слоя  $k$ , которая используется при определении производительности промышленного аппарата для сушки. Значение удельного выхода сухого материала с единицы объема зоны обезвоживания с учетом расширения слоя в развитой стадии псевдокипания  $\Pi'$  находится по соотношению:

$$\Pi' = \Pi/k' \quad (1)$$

где  $\Pi$  – значение удельного выхода сухого материала с единицы объема зоны обезвоживания без учета расширения слоя, кг·м<sup>3</sup>/с.

В результате проведения постановочных опытов выявлено, что механизм псевдокипания гранулированной клейковины и значение критической скорости существенно определя-

ются ее влажностью, от которой зависит адгезионное взаимодействие гранул между собой и их масса. При этом обоснованность выбора активного режима оживления обусловлена тем, что отвечающие ему гидродинамические условия определяются свойствами продукта как объекта сушки и технико-технологической задачей. В частности, при влагоудалении из крупнопористых продуктов с влагой в свободном состоянии активным является преимущественно режим пневмотранспорта, а при обезвоживании тонкопористых продуктов данный режим не является активным, поскольку предопределяет непроизводительные энергозатраты и не дает возможности решить технологическую задачу. Опираясь на информацию о структурно-механических характеристиках гранул, предпочтительным способом для них будет обезвоживание при высоких скоростях теплоносителя с дальнейшей досушкой подсушенного материала в зоне отведения влаги в связанном состоянии. По этой причине была изучена гидродинамика псевдокипения для гранул влажностью 0,474 кг/кг (исходная влажность подаваемого на сушку продукта), представленная на рисунке 1 и влажностью 0,19 кг/кг (влажность материала, содержащего преимущественно трудноотводимую влагу в связанном состоянии), представленная на рисунке 2.

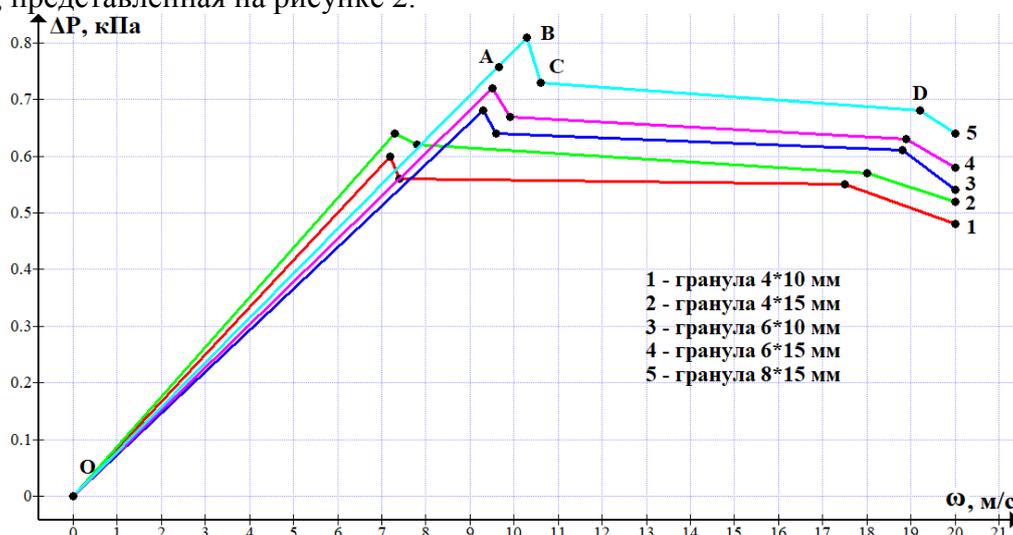


Рисунок 1. Кривые псевдокипения для гранул с варьируемыми габаритами при влажности 0,474 кг/кг и их удельной нагрузке на решетку  $M = 47,7 \text{ кг/м}^2$ / Fig. 1 - Pseudo-boiling curves for granules with varying dimensions at a moisture content of 0.474 kg / kg and their specific load on the grate  $M = 47,7 \text{ kg / m}^2$

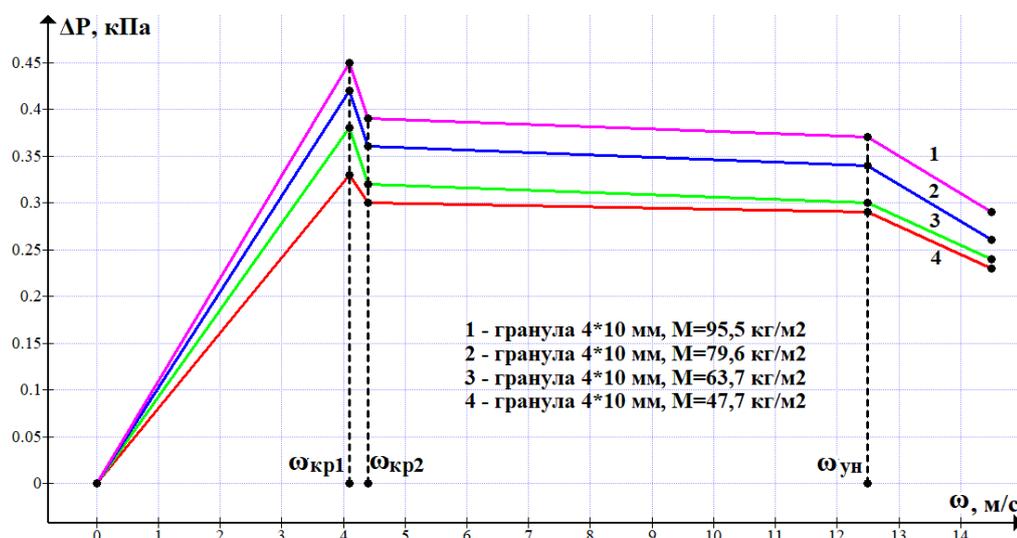
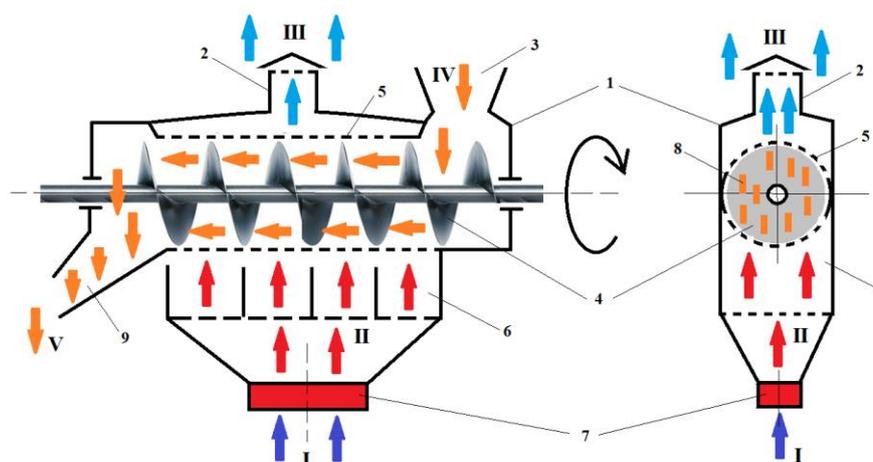


Рисунок 2. Кривые псевдокипения для гранул  $4 \times 10 \text{ мм}$  при влажности 0,19 кг/кг и их варьируемой удельной нагрузке на решетку/ Fig. 2 - Pseudo-boiling curves for granules  $4 \times 10 \text{ мм}$  at a moisture content of 0.19 kg / kg and their variable specific load on the lattice

Разработанная сушильная установка для обезвоживания клейковинного полуфабриката, имеющего рациональные потребительские свойства при снижении затрат энергии на этот процесс представлена на рисунке 3. Для более полного рассмотрения схемы предлагаемой сушильной установки следует отметить, что в последующих зоне и, соответственно витках шнека 4, скорость подаваемого сушильного агента снижается, ввиду перехода материала в гигроскопическую область при уменьшении массы и влажности высушиваемого продукта 8. Границы и диапазоны данных двух зон определяются на основе анализа статистики процесса обезвоживания. Данное ступенчатое изменение скорости сушильного агента необходимо для снижения энергоемкости установки и создания устойчивого кипящего слоя в течение всего процесса обезвоживания. Скорость вращения шнека 4 определяется исходя из времени сушки, найденного при исследовании ее кинетики, а число витков, т.е. длина участка шнека для каждой зоны варьируется согласно времени сушки в каждой вышеуказанной стадии обезвоживания. На выходе из шнекового узла установлен узел для отведения сухой продукции из агрегата 9, либо в сборную емкость, либо транспортируется тем или иным способом в складские помещения.



**Рисунок 3. Схема предлагаемой сушильной установки:**

**1 – корпус установки; 2 – воздухоотвод для отработанного сушильного агента;**

3 – приемный бункер; 4 – шнек; 5 – рабочая камера; 6 – секции для подвода в рабочую камеру сушильного агента; 7 – вентилятор с калорифером; 8 – гранулы (объект сушки); 9 – сбор сухой продукции; I – подвод сушильного агента; II – сушильный агент, имеющий заданные температуру и скорость для каждой секции; III – отвод отработанного теплоносителя; IV – подвод влажного продукта; V – сьем сухой продукции/ **Fig. 3 - Scheme**

**of the proposed drying plant: 1 – installation case; 2 - air outlet for the spent drying agent;**

**3 - receiving hopper; 4 - auger; 5 - working chamber; 6 - sections for supplying a drying agent to the working chamber; 7 – fan with heater; 8 - granules (drying object);**

**9 - collection of dry product; I - supply of drying agent; II - drying agent having a given temperature and speed for each section; III - removal of the spent coolant; IV - wet product supply; V - eat dry product**

К достоинствам данного конструкторского решения можно причислить, во-первых, непрерывность технологического потока, во-вторых, снижение энергоемкости установки за счет ступенчатого изменения скорости подаваемого сушильного агента, в-третьих, возможность обеспечения заданного времени нахождения высушиваемого гранулированного материала в зоне обезвоживания путем варьирования частоты вращения шнекового узла, его длины и числа витков. Кроме того, повышение интенсивности процесса сушки обусловлено нахождением слоя продукта в псевдооживленном состоянии, за счет повышения в данном варианте коэффициентов массо- и теплоотдачи на границе раздела фаз по сравнению с сушкой в неподвижном слое гранул.

### **Вывод**

Таким образом, обоснованный положительный эффект от внедрения в производственную практику предлагаемой технологии и сушильного устройства по сравнению с из-

вестными агрегатами заключается в эффективном проведении процесса обезвоживания клейковинных гранул, как с технической, так и с экономической точек зрения. Влажность готового продукта, а это сухая нативная клейковина, составляет не более 10%, что позволяет хранить его длительное время и использовать в отдельных технологиях пищевой промышленности, где может применяться данный материал.

При операции обезвоживания скорость уноса гранул варьируется, поэтому целесообразно для них применить режим проходящего псевдокипения в зависимости от снижения их влажности, причем форма сушильного отсека должна иметь цилиндрическое исполнение. К позитивным сторонам данного режима по сравнению с обычным псевдокипением можно причислить малое гидросопротивление и большую гидродинамическую стабильность. Принимая во внимание тот факт, что у влажных гранул могут проявляться адгезионные свойства, для интенсификации процесса обезвоживания рекомендуется использовать механические ворошители слоя, например, шнековый побудитель; при его применении удобно контролировать не только время нахождения гранул в камере, но и при их перемещении менять режимные параметры сушильного агента.

Отметим, что предлагаемая установка непрерывного действия, благодаря своим конструктивным особенностям, может быть пригодна не только для осуществления обезвоживания исследуемого гранулированного полуфабриката, но и для сушки подобных продуктов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология получения пшеничной клейковины и крахмала. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.newchemistry.ru/le-tter.php?n\\_id=8650](https://www.newchemistry.ru/le-tter.php?n_id=8650) (Дата обращения: 08.02.2022).
2. Фоменко Е.В., Нугманов А.Х.Х. Управление скоростью перемещения вязкоупругих материалов в цилиндрическом канале шнекового питателя формирующих устройств // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 1. С. 113-119.
3. Титова Л.М. Разработка и научное обоснование способа сушки пищевых волокон : специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Титова Любовь Михайловна ; ВГУИТ. – Воронеж, 2009. – 177 с.
4. Куцакова В.Е., Богатырев А.Н. Интенсификация тепло- и массообмена при сушке пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1987. – 236 с.
5. Попова С.Б. Совершенствование процесса сушки тыквы в технологии плодово-овощных концентратов : специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Попова Светлана Борисовна ; АГТУ. – Астрахань, 2004. – 220 с.
6. Cummings J.H. Nutritional implications of dietary fiber Get access Arrow // The American Journal of Clinical Nutrition, Volume 31, Issue 10, October 1978, Pages S21–S29, <https://doi.org/10.1093/ajcn/31.10.S21>
7. Перри Дж.Г. Справочник инженера-химика. Том 1. (Chemical Engineers' Handbook, 1963) [Pdf-70.0M] Перевод с четвертого английского издания под общей редакцией Н.М. Жаворонкова и П.Г. Романкова.
8. Перри Дж.Г. Справочник инженера-химика. Том 2. (Chemical Engineers' Handbook, 1963) [Pdf-80.8M] Перевод с четвертого английского издания под общей редакцией Н.М. Жаворонкова и П.Г. Романкова.
9. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 527 с.
10. Сажин Б.С. Аппараты с активными гидродинамическими режимами для сушки дисперсных волокнообразующих полимеров. – М.: МТИ, 1987. – 43 с.

## REFERENCES

1. Tekhnologiya polucheniya pshenichnoi kleikoviny i krakhmala. [Elektronnyi re-surs]. Rezhim dostupa: [https://www.newchemistry.ru/le-tter.php?n\\_id=8650](https://www.newchemistry.ru/le-tter.php?n_id=8650) (Data obrashcheniya: 08.02.2022).
2. Fomenko E.V., Nugmanov A.KH.KH. Upravlenie skorost'yu peremeshcheniya vyazkoupru-gikh materialov v tsilindricheskom kanale shnekovogo pitatelya formuyushchikh ustroystv // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2019. T. 49. № 1. S. 113-119.
3. Titova L.M. Razrabotka i nauchnoe obosnovanie sposoba sushki pishchevykh volokon : spetsial'nost' 05.18.12 «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv» : dissertatsiya na so-iskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Titova Lyubov' Mikhailovna ; VGUIT. – Voronezh, 2009. – 177 s.
4. Kutsakova V.E., Bogatyrev A.N. Intensifikatsiya teplo- i massoobmena pri sushke pishchevykh produktov. M.: Agropromizdat, 1987. – 236 s.
5. Popova S.B. Sovershenstvovanie protsessa sushki tykvy v tekhnologii plodovovoshchnykh kontsentratorov : spetsial'nost' 05.18.12 «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv» : dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Popova Svetlana Borisovna ; AGTU. – Astrakhan', 2004. – 220 s.
6. Cummings J.H. Nutritional implications of dietary fiber Get access Arrow // The American Journal of Clinical Nutrition, Volume 31, Issue 10, October 1978, Pages S21–S29, <https://doi.org/10.1093/ajcn/31.10.S21>
7. Perri Dzh.G. Spravochnik inzhenera-khimika. Tom 1. (Chemical Engineers' Handbook, 1963) [Pdf-70.0M] Perevod s chetvertogo angliiskogo izdaniya pod obshchei redaktsiei N.M. Zhavoronkova i P.G. Romankova.
8. Perri Dzh.G. Spravochnik inzhenera-khimika. Tom 2. (Chemical Engineers' Handbook, 1963) [Pdf-80.8M] Perevod s chetvertogo angliiskogo izdaniya pod obshchei redaktsiei N.M. Zhavoronkova i P.G. Romankova.
9. Ginzburg A.S. Osnovy teorii i tekhniki sushki pishchevykh produktov. – M.: Pishchevaya promyshlennost', 1975. – 527 s.
10. Sazhin B.S. Apparaty s aktivnymi gidrodinamicheskimi rezhimami dlya sushki disper-snykh voloknoobrazuyushchikh polimerov. – M.: MTI, 1987. – 43 s.

## ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

**Покопцева Аделина Альбертовна**, аспирант ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кафедра «Технологические машины и оборудование», e-mail: [albert909@yandex.ru](mailto:albert909@yandex.ru), 8-927-282-43-07, <https://orcid.org/0000-0001-8714-6034>

**Pokoptseva Adelina Albertovna**, graduate student, FSBEI HE Astrakhan State Technical University, Department of Technological Machines and Machinery, e-mail: [albert909@yandex.ru](mailto:albert909@yandex.ru), 8-927-282-43-07, <https://orcid.org/0000-0001-8714-6034>

**Алексамян Игорь Юрьевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кафедра «Технологические машины и оборудование», 16081960igor@gmail.com, 8-960-863-26-04, <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

**Aleksanian Igor Yurievich**, doctor of technical sciences, professor, FSBEI HE Astrakhan State Technical University, Department of Technological Machines and Machinery, [16081960igor@gmail.com](mailto:16081960igor@gmail.com), 8-960-863-26-04, <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

**Нугманов Альберт Хамед-Харисович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кафедра «Технологические

машины и оборудование», [albert909@yandex.ru](mailto:albert909@yandex.ru), 8-927-282-43-07, <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

**Nugmanov Albert Hamed-Harisovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, FSBEI HE Astrakhan State Technical University, Department of Technological Machines and Machinery, », [albert909@yandex.ru](mailto:albert909@yandex.ru), 8-927-282-43-07, <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

**Фоменко Екатерина Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кафедра «Экономика и управление предприятием», e-mail: [tetatet.78@mail.ru](mailto:tetatet.78@mail.ru), 8-927-282-43-07

**Fomenko Ekaterina Valerievna**, candidate of technical sciences, assistant professor, FSBEI HE Astrakhan State Technical University, Department of Economics and enterprise management, e-mail: [tetatet.78@mail.ru](mailto:tetatet.78@mail.ru), 8-927-282-43-07

**Максименко Юрий Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кафедра «Технологические машины и оборудование», [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12, <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

**Maksimenko Yury Aleksandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department head, FSBEI HE Astrakhan State Technical University, Department of Technological Machines and Machinery, [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12, <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

Дата поступления в редакцию:12.03.2022

После рецензирования:23.04.2022

Дата принятия к публикации:13.06.2022