

УДК 536.712; 664.231:66.081

## Определение гигроскопических свойств и десорбционных параметров в технологии гранулирования пшеничной клейковины

Е. В. ФОМЕНКО, д-р техн. наук И. Ю. АЛЕКСАНИЯ<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук О. А. ПЕТРОВИЧЕВ, канд. техн. наук В. Н. ЛЫСОВА  
<sup>1</sup>albert909@yandex.ru

*Астраханский государственный технический университет*

*Проведено исследование по совершенствованию технологии сухой клейковины и ее аппаратного оформления, в которой основной проблемой является не только процесс влагоудаления, а в большей степени процессы подготовки нативной клейковины, как объекта сушки. Представлено эмпирическое исследование гигроскопических характеристик пшеничной клейковины, которые определялись посредством тензометрического метода Ван Бамелена. После реализации серии экспериментов были получены изотермы сорбции влаги клейковиной пшеничной, при температурах воздуха 298 К и 313 К. Математическая обработка экспериментальных данных представлена в виде обобщенной логарифмической зависимости логарифма активности воды от температуры и влагосодержания. Для решения задачи рационального использования энерго- и материальных ресурсов в технологии производства сухого клейковинного продукта, предложено, для получения объектом сушки сыпучих свойств, реализовать процессы вакуумного самопроизвольного замораживания и последующего подсушивания сырой клейковины до появления на ее поверхности твердой корочки, что существенно повысит эффективность технологии. Экспериментально получено процентное содержание свободной влаги в продукте и конечная влажность, при которой полуфабрикат будет иметь на поверхности сухую корочку, наличие которой минимизирует адгезионное слипание получаемых гранул. Представлены результаты органолептической оценки качества подсушенного полуфабриката, который в случае необходимости обладал бы всеми характеристиками объекта последующего обезвоживания и гранулирования, т. е. заданной хрупкостью. Органолептическими критериями или минимально допустимыми контрольными оценками качества подсушки штранга являлись такие дескрипторы как цвет корки, изменяющийся в процессе подсушки и его внешний вид. Предложенная схема производства является оригинальной и позволит сберечь материальные и энергоресурсы при реализации технологии сухой клейковины. В данной продукции и совершенствовании ее технологии заинтересованы специалисты мукомольной и хлебопекарной промышленности, а также производители макаронных, спиртовых изделий, крахмалопродуктов и др.*

**Ключевые слова:** клейковина пшеничная, гигроскопические свойства, глютен, вакуумное замораживание, сушка, влагосодержание, органолептика, профилограмма.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 02.02.2019, принята к печати 08.04.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-2-86-94

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Фоменко Е. В., Алексанян И. Ю., Петровичев О. А., Лысова В. Н. Определение гигроскопических свойств и десорбционных параметров в технологии гранулирования пшеничной клейковины // Вестник Международной академии холода. 2019. № 2. С. 86–94.

## Determination of hygroscopic properties and desorption parameters in the technology of wheat gluten granulation

E. V. FOMENKO, D. Sc. I. Yu. ALEXANYAN<sup>1</sup>,  
Ph. D. O. A. PETROVICHEV, Ph. D. V. N. LYSOVA  
<sup>1</sup>albert909@yandex.ru

*Astrakhan State Technical University*

*The article presents the results of research on the improvement of dry gluten technology and its hardware design, in which the main problem is not only the process of moisture removal, but, to a greater degree, the preparation of native gluten as an object of drying. An empirical study of the hygroscopic characteristics of wheat gluten, which were determined using the Van Bamelens tensometric method, is presented. After the implementation of a series of experiments, moisture sorption isotherms of wheat gluten were obtained at the air temperatures of 298 K and 313 K. Mathematical processing of experimental data is presented in the form of a generalized logarithmic dependence of the logarithm of water activity on temperature*

*and moisture content. To solve the problem of rational use of energy and material resources in the production technology of dry gluten product it is proposed, in order to obtain loose properties for drying, to implement the processes of vacuum spontaneous freezing and subsequent drying of raw gluten before a hard crust appears on its surface. The article presents the experimentally obtained percentage of free moisture in the product and the final moisture content at which the semi-finished product will have a dry crust on the surface, the presence of which minimizes the adhesion of the obtained granules. The article presents the results of the organoleptic assessment of the quality of the dried semi-finished product, which, if necessary, would have all the characteristics of the object of subsequent dehydration and granulation, i. e. given fragility. Organoleptic criteria or minimum acceptable control assessments of the quality of drying of the extrusion were such descriptors as the color of the peel, changing during the drying process, and its appearance. The manufacturing technology proposed is an original one and allows saving resources and energy in dry gluten technology. The product in question and its processing improvement is of great interest for the specialists of flour-producing and bread-making, as well as the manufactures of pasta, alcoholic beverages, starch and other products.*

**Keywords:** wheat gluten, hygroscopic properties, gluten, vacuum freezing, drying, moisture content, organoleptics, profilogram.

#### Article info:

Received 02/02/2019, accepted 08/04/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-2-86-94

Article in Russian

#### For citation:

Fomenko E. V., Aleksanyan I. Yu., Petrovichev O. A., Lysova V. N. Determination of hygroscopic properties and desorption parameters in the technology of wheat gluten granulation. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 2. p. 86–94.

### Введение

Согласно долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации на 2016–2025 гг. и на перспективу до 2030 г., особое внимание будет уделяться глубокой переработке зерновых культур в симбиозе с химической, микробиологической и фармацевтической отраслями промышленности. Глубокая переработка зерна является наименее развитым в России сегментом внутреннего потребления зерна и зернобобовых культур и имеет значительный потенциал роста, обусловленного необходимостью импортозамещения, а также развитием передовых отечественных биотехнологий [1, 2].

Научными и практическими аспектами исследуемой проблемы занимались отечественные и зарубежные ученые. Значительный вклад в исследовании физико-химических свойств и структурных особенностей клейковины пшеничной, а также в развитие технологии ее получения в сухом виде внесли российские ученые — А. Б. Вакар, В. С. Смирнов, Р. С. Будницкая, И. Ш. Шкловский, И. А. Рогов, В. В. Колпакова [3–9]; зарубежные исследователи — Blish, Sandstedt, Cook, Alsberg, El-Gindy, Burell, Lamb и мн. др. [10–12].

Следует отметить, что различная подготовка материала и очистка отмытой клейковины влияет на ее состав, а значит и на свойства. Даже имея определенную муку в качестве исходного материала, можно получить из нее клейковину с неодинаковым составом, если варьировать методику ее выделения. Поэтому необходимо иметь информацию о характеристиках и свойствах клейковины, полученной тем или иным технологическим способом, и провести оценку их влияния на свойства конечного продукта, с целью прогнозирования его целевого использования.

Как правило, сырая клейковина предварительно обезвоживается в вакууме или путем прямого высушивания при высокой температуре или же с помощью лиофилизации. Несомненно, способ высушивания и особенно

степень нагрева оказывают значительное влияние на потребительские свойства конечного продукта. Поэтому вопросы, связанные с разработкой эффективной промышленной технологии, и ее конструкторского оформления при производстве сухого клейковинного продукта недостаточно проработаны и требуют дальнейшего изучения.

Теоретическая значимость проведенного исследования гигроскопических свойств и десорбционных параметров в технологии гранулирования пшеничной клейковины обусловлена последующим проведением комплексного анализа тепломассообменных и гидромеханических процессов при осуществлении технологии гранулирования радиационно подсушенных клейковинных штрангов со сниженной адгезионной способностью.

### Цели и задачи

Производители нативной клейковины уделяют большое внимание совершенствованию технологии с целью снижения потребления воды для ее извлечения [13, 14]. Отдельно стоит отметить сложность сушки клейковины. Этот процесс необходимо проводить не допуская деструкции белка при сохранении нативности клейковины, которая определяется, в основном, ее влагоудерживающей способностью — не менее 150% (1,5 г воды на 1 г клейковины), и напрямую зависящей от зольности цветности — от светло-желтой до светло-коричневой, которая играет не последнюю роль в коммерческом применении клейковины в качестве функциональной добавки при производстве хлебопекарных и макаронных изделий. По этой причине, предъявляются повышенные требования к качеству помола исходной пшеничной муки [15, 16].

В этой связи целью данных исследований является определение гигроскопических характеристик, параметров фазовых переходов при паро- и льдообразовании, а также характерных влажностей при переходе от одной стадии технологии к другой.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести экспериментальные исследования по определению гигроскопических характеристик, параметров фазовых переходов при паро- и льдообразовании, а также характерных влажностей при переходе от одной стадии технологии к другой;

2. Определить энергию, затрачиваемую на ее удаление и фазовый переход (вода-лёд) до момента образования на поверхности полуфабриката сухой корочки, наличие которой минимизирует адгезионные слипания получаемых гранул.

### Методы и модели

При разработке технологий сухой клейковины и ее аппаратного оформления основное внимание уделяется выбору и анализу параметров, оказывающих влияние на продолжительность операций, рациональных интенсивных режимов предварительной подготовки полуфабриката для сушки и собственно обезвоживания.

В технологии сухой клейковины основной проблемой является не сам процесс влагоудаления, а в большей степени процессы подготовки нативной клейковины, как объекта сушки. К данным процессам можно отнести, в зависимости от вида обезвоживания: нанесение на рабочую поверхность и сьем с нее сухого продукта, диспергирование продукта (гранулирование) и т. д., организация которых вызывает значительные трудности из-за высокоадгезионных и упруго-вязких характеристик клейковины пшеничной [17].

Таким образом, изучение и анализ совместных физико-химических и энергетических эффектов при дегидратационной обработке дают возможность производить сухой глютен [18] с заданными свойствами при снижении затрат энергии.

Авторами предлагается для повышения эффективности сушки нативной клейковины проводить ее путем обезвоживания в псевдооживленном слое подготовленных гранул, прошедших стадии самопроизвольной заморозки в вакууме и подсушке до образования на их поверхности сухой корочки, что позволит исключить их адгезионное слипание и «козлование» слоя дисперсного материала.

Исследование гигроскопических свойств пшеничной клейковины позволит рассчитать в ней количество свободной и связанной влаги [19, 20], а также энергию, затрачиваемую на ее удаление и фазовый переход (вода — лёд) до момента образования на поверхности полуфабриката сухой корочки, наличие которой минимизирует адгезионные слипания получаемых гранул, что обеспечит их эффективное высушивание в псевдооживленном состоянии [21–23]. Ввиду значительных тепловых потоков и малой пропускательной способности клейковины, а также условий организации вакуумного обезвоживания, целесообразно использование инфракрасного энергоподвода.

Таким образом, оперируя этими данными можно определить продолжительность процессов вакуумного самопроизвольного замораживания и подсушивания, т. е. время нахождения продукта в вакуумной рабочей камере, а также связанную с ним скорость продвижения штранга в зонах заморозки и дегидратации.

В рамках данного эмпирического исследования гигроскопических характеристик пшеничной клейковины определялась ее гигроскопичность, характеризующая равновесную влажность продукта, посредством тензометрического метода Ван Бамелена [21–23]. Согласно этому статическому методу, образцы исследуемого продукта с заранее определенным содержанием влаги выдерживались в эксикаторах с раствором серной кислоты различной концентрации [24]. При этом, определенной концентрации раствора при заданной температуре соответствует определенное парциальное давление водяного пара, т. е. определенное значение относительной влажности воздуха  $\phi$  [25]. Определенное количество исследуемого материала взвешивается на аналитических весах с точностью до 0,001 г после достижения постоянной массы, при которой его влажность соответствует равновесной.

Равновесная влажность  $W_p$ , которая получена в ходе экспериментов, определяется по формуле

$$W_p = \frac{G_2 - G_1(1 - W_{\text{обр}})}{G_2}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{обр}}$  — начальная влажность образца, кг/кг;  $G_1$  — начальная масса исследуемого образца, кг;  $G_2$  — масса образца при достижении гигротермического равновесия, кг.

При определении влажности образцов также определялась погрешность (не менее 3÷5 повторности), следующим образом:

1. Составлена таблица измерений, где было определено среднее значение измеряемой величины

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

где  $x_i$  — численное значение измеренной величины;  $n$  — число измерений в выборке;  $i=1, 2, \dots, n$ .

2. Определены единичные отклонения  $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ , вычислялись квадраты отклонений  $(\Delta x_i)^2$ , проверялось согласие с соотношением  $\sum \Delta x_i = 0$ , определялись средние квадратичные отклонения:

$$S_n = \sqrt{\sum_i (\Delta x_i)^2 / (n-1)} \quad (3)$$

3. Устанавливались и удалялись промахи из таблицы измерений (при  $\Delta x_i > 2S_n$ ).

4. Устанавливались средние квадратичные отклонения средней величины

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\sum_i (\Delta x_i)^2 / [n(n-1)]}. \quad (4)$$

5. Устанавливался критерий Стьюдента  $t_{St}=2,77$ , при доверительной вероятности 0,95; вычислялись погрешности результатов измерений:

$$\Delta x = \mu_a = t_{St} S_{\bar{x}}. \quad (5)$$

6. Устанавливались относительные погрешности по формуле:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (6)$$

Анализ погрешностей на основании статистического анализа выявил, что интервал  $\Delta W_p$  имеет тенденцию

к росту при разных температурах и росте относительной влажности воздуха. В ходе выполнения диссертационной работы определена относительная ошибка среднего результата измерений  $\epsilon_{wр}$ , которая равна примерно  $2,8 \div 6\%$ , но при  $\phi > 0,7$  она возрастает до 11%. Данный скачок можно объяснить тем, что происходит активное поглощение влаги, сопровождаемое растворением исследуемого материала, т. е. незначительные изменения  $\phi$  приводят к существенным изменениям равновесного влаго содержания.

Экспериментальное изучение гигроскопических свойств имеет целью дать характеристику изучаемому сухому продукту и рекомендации по выбору конечной влажности материала, являющейся наиболее целесообразной для осуществления процесса хранения.

### Результаты и их обсуждение

При построении кривых сорбции принято, что численные значения показателя активности воды  $A_w$  и относительной влажности воздуха  $\phi$  совпадают, вследствие равенства давления пара над поверхностью исследуемого материала и его давлению в среде эксикатора [25].

После реализации серии экспериментов на эксикаторной опытной установке получены изотермы сорбции влаги клейковинной пшеничной, при температурах воздуха 298 К и 313 К, которые представлены ниже (рис. 1).

Полученную изотерму сорбции можно условно разбить на три участка, что особенно наглядно видно при построении изотерм в полулогарифмической модификации (рис. 2).

На изотермах можно выделить сингулярные точки, которые соответствуют критическим значениям влаго содержания и информируют о видоизменении механизма сорбции.

Полученные изотермы можно отнести к II типу, которые характерны для всех пищевых гидрофильных продуктов [26]. Это объясняется тем, что при проведении сорбции в условиях постепенного повышения  $\phi$  происходит накопление влаги вокруг активных центров, вследствие чего формируются молекулярные грозди. Их появление вызывает перестройку структуры макромолекул белков, разворачивание глобул или перемещение боковых

цепей. В результате становятся доступными новые активные центры, которые связывают дополнительные порции молекул воды.

Вода в этом случае играет промежуточную роль, образуя водородные связи с гидроксильными группами, позволяющая исследуемому продукту, в том числе и за счет прочных ковалентных поперечных связей на участке  $0,050 \leq A_w \leq 0,150$  (см. рис. 1), не зависеть от температуры до первой точки перегиба сорбционных кривых.

Конформационные преобразования макромолекул характеризуются высокой степенью необратимости, что и определяет повышенную влажность клейковины (и других гидрофильных материалов) при сорбции на участке  $0,150 \leq A_w \leq 0,650$ . Здесь происходит рост количества адсорбированной влаги и наблюдаются тепловые колебания молекул воды, которые разрывают молекулярные белковые цепи, позволяя им принимать энергетически выгодные конформации, но молекулы воды здесь все еще находятся в ориентированном состоянии, из чего следует, что на этом отрезке реализуется полимолекулярная адсорбция. Пройдя этот участок, молекулы воды продолжают проникать в межмолекулярное пространство клейковины, что на фоне теплового движения молекул приводит к их частичному набуханию.

На участке  $0,650 \leq A_w$  происходит свободное перемещение мономерных белковых остатков, соединенных в цепочки и окруженные гидратными слоями, в результате чего ослабляются связи в самой структуре клейковины.

Таким образом, из эмпирически полученных изотерм сорбции (рис. 1, 2), выделяются три основных участка, причина появления которых аналитически обоснована. Следует отметить, что одному из них соответствует образование «монослоя», а именно здесь влага достаточно сильно связана с продуктом и микробиологическая активность незначительна [27]. Поэтому для высушенного клейковинного материала наиболее целесообразной конечной влажностью является та, которая соответствует диапазону активности воды в интервале  $0,050 \leq A_w \leq 0,150$ .

На рис. 2 наблюдаются достаточно четкие переходы от одного условного участка к другому, которые соот-

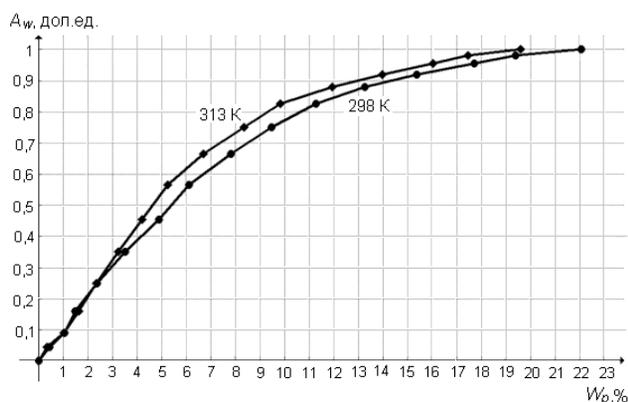


Рис. 1. Кривые равновесия при сорбции влаги глютенем при различных температурах

Fig. 1. Equilibrium curves for moisture sorption by gluten at different temperatures

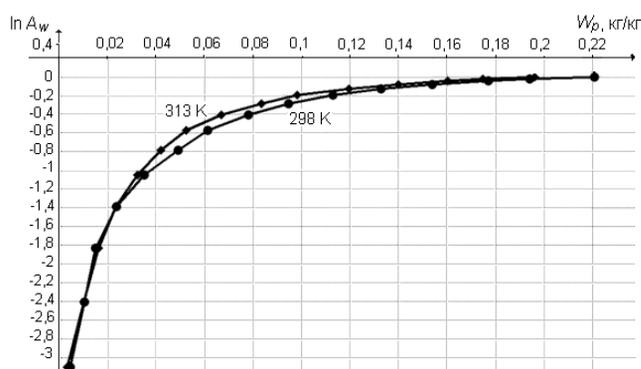


Рис. 2. Изотермы сорбции влаги глютенем в полулогарифмических координатах при различных температурах

Fig. 2. Isotherms of moisture sorption by gluten in semilog coordinates at different temperatures

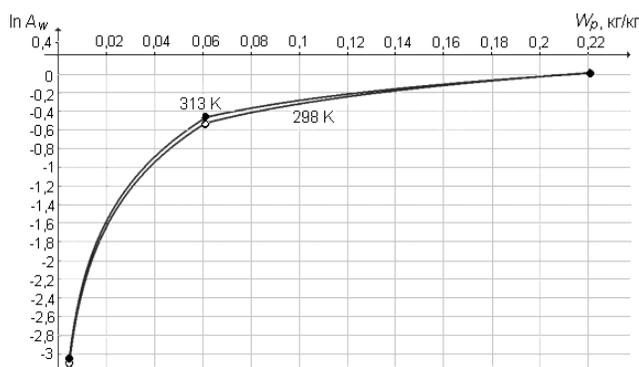


Рис. 3 Логарифмическая аппроксимация полученных изотерм сорбции

Fig. 3 Logarithmic approximation of the sorption isotherms obtained

ветствуют преобладанию одной из форм связи влаги с сухим остатком материала (осмотическая, иммобилизационная и структурная) над другой.

Проведение логарифмирования облегчает математическую обработку и интерпретацию полученных изотерм (рис. 2), которые для удобства разбиты на 2 участка и аппроксимированы логарифмическими функциями, которые графически представлены на рис. 3. Рассчитанная погрешность между аппроксимированными и эмпирически полученными значениями составляет не более 1,5%.

Математическая обработка экспериментальных данных представлена в виде обобщенной логарифмической зависимости логарифма активности воды от температуры и влагосодержания:

$$\ln A_w = (a_i T + b_i) \ln(W_p) + (A_i T + d_i), \quad (7)$$

где  $a_i, b_i, c_i, d_i$  — эмпирические коэффициенты;  $i$  — порядковый номер участка изотермы. Значения коэффициентов  $a_i, b_i, c_i, d_i$  для каждого участка сведены в табл. 1.

Вследствие того, что исследуемые процессы, в частности подсушка пшеничной клейковины, протекают за областью гигроскопического состояния, т. е. удаляется в основном свободная влага, то термодинамический анализ полученных данных можно не проводить.

Для предупреждения прилипания сырой клейковины в процессе конвективной сушки используют сорбционный метод, который заключается в смешивании исходного продукта с мукой или сухим клейковинным порошком в соотношении (5÷50): (95÷50) с одновременным измельчением [28, 29]. В зависимости от соотношения сырой клейковины и сухого премиксом получают смеси с различной консистенцией, от творожистой (сыпучей) до порошкообразной, и соответственно влажностью. На основе полученных продуктом сыпучих свойств и перераспределения в нем частиц премикса и клейковины между собой проводят вторую стадию влагоудаления, но для достижения заданной характеристики объектом сушки затрачивается дополнительных материалов до половины массы исходного. Использование в таких количествах в качестве добавки сухой порошковой клейковины ведет к снижению производительности производства почти в 2 раза, при этом энергетические затраты на производство пропорционально увеличиваются,

Таблица 1  
Значения коэффициентов  $a_i, b_i, c_i, d_i$  для каждого участка  $W_p$ , подставляемые в уравнение (7)

Table 1

The values of coefficients  $a_i, b_i, c_i, d_i$  for every segment of  $W_p$ , inserted in equation (7)

| Эмпирические коэффициенты | $0,0045 \leq W_p \leq 0,0612,$ | $0,0612 \leq W_p \leq 0,2208,$ |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                           | $i=1$                          | $i=2$                          |
| $a_i$                     | 0                              | -0,0035                        |
| $b_i$                     | 0,987                          | 1,454                          |
| $c_i$                     | 0,0039                         | -0,0055                        |
| $d_i$                     | 1,078                          | 2,297                          |

т. к. премикс нужно получить, следовательно эффективность технологии низкая.

Решая задачу рационального использования энергетических и материальных ресурсов в технологии производства сухого клейковинного продукта, предлагается, для получения объектом сушки сыпучих свойств, реализовать процессы вакуумного самопроизвольного замораживания и последующего подсушивания сырой клейковины до появления на ее поверхности твердой корочки, что существенно повысит эффективность технологии. Поэтому на данном этапе исследования необходимо экспериментально определить процентное содержание свободной влаги в продукте и конечную влажность, при которой полуфабрикат будет иметь на поверхности сухую корочку, наличие которой минимизирует адгезионное слипание получаемых гранул.

Наличие влаги в пищевых продуктах играет важную роль, т. к. обуславливает его консистенцию и структуру и определяет его устойчивость при дальнейшей переработке или хранении. Общая влажность продукта указывает на количество влаги в нем, но не характеризует ее причастность к химическим, биохимическим и микробиологическим изменениям в продукте.

Для определения влажности сырой клейковины и конечной влажности гранулы применялся метод высушивания в вакууме на экспериментальной инфракрасной вакуум-сушильной установке Инновационно-исследовательского и внедренческого центра прикладной биотехнологии АГТУ, работающего по тематике НИР «Развитие научно-практических основ и совершенствование тепло-массообменных процессов переработки водных биоресурсов» по Государственному заданию.

Принципиальная схема опытной вакуум-сушильной установки представлена на рис. 4, где: 1 — ЭВМ; 2 — щит управления; 3 — КСП-4; 4 — фланец; 5 — видекамера; 6 — терморпара; 7 — панель ИК излучателей; 8 — крышка; 9 — насадка; 10 — смотровое окно; 11 — подложка; 12 — весы; 13 — обечайка.

Результаты экспериментов по определению влажности объектов исследования, с относительной погрешностью не выше  $\varepsilon_w = 3,22\%$  представлены в табл. 2. Относительная погрешность определения влажности образцов определялась по формулам (2)–(6).

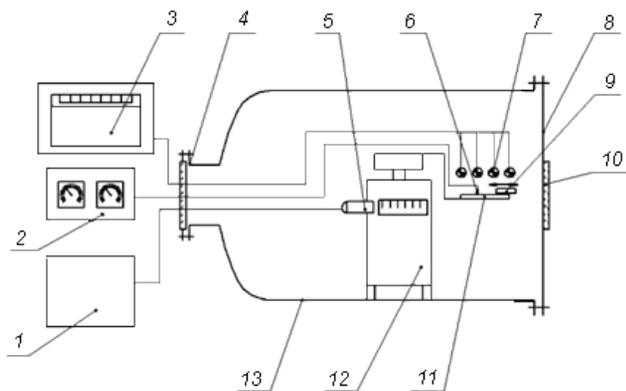


Рис. 4. Принципиальная схема опытной вакуум-сушильной установки

Fig. 4. Experimental vacuum-drying unit

В обеспечении устойчивости вакуумного самопроизвольного замораживания клейковинного штранга важную роль играет соотношение свободной и связанной влаги в продукте. Это связано с тем, что свободная влага не связана тепловым эффектом с сухим скелетом и более доступна для смены своего агрегатного состояния. Согласно данным, полученным из табл. 2, соотношение свободной к связанной влаге составляет 60% на 40%.

Как было уже отмечено, подсушивание сырой клейковины необходимо до момента появления на ее поверхности твердой корочки, которая образуется в результате обезвоживания наружных слоев предварительно замороженного штранга. Наличие твердой корки на поверхности замороженной клейковины до минимума снижает ее адгезионные свойства и у штранга проявляется такая характеристика как хрупкость, необходимая для гранулирования, поэтому важно понимать до какого минимального порога влажности следует проводить подсушку, учитывая технологические ограничения и конструкторские возможности по реализации этого процесса.

Необходимая корочка образуется в результате прогрева поверхности клейковинного штранга и денатурации белка при нагревании. Следует учесть, что денатурация белковых веществ на поверхности изделия происходит при температуре 70÷90 °С и, наряду с обезвоживанием верхнего слоя, способствует образованию плотной неэластичной корки [30–32]. Специфическая окраска корки в основном обусловлена образованием в ней темноокрашенных продуктов протеолиза белков [31, 32].

Обоснованный выбор величины конечной влажности клейковинного штранга для производства гранул проводился путем пятибалльной органолептической оценки качества подсушенного полуфабриката, который в случае необходимости обладал бы всеми характеристиками объекта последующего обезвоживания и гранулирования, т. е. заданной хрупкостью. Органолептическими критериями или минимально допустимыми контрольными оценками качества подсушки штранга являлись такие дескрипторы как цвет корки, изменяющийся в процессе подсушки и его внешний вид по ГОСТ 27842–88 [33].

Таблица 2  
Данные экспериментов по определению влажности клейковины пшеничной

Table 2  
Experimental data for wheat gluten moisture content

| Номер эксперимента | Влажность сырой клейковины, % | Относительное содержание связанной влаги, % | Относительное содержание свободной влаги, % |
|--------------------|-------------------------------|---|---|
| 1                  | 57,3                          | 22  | 35,3  |
| 2                  | 59,3                          |   | 37,3  |
| 3                  | 56,2                          |   | 34,2  |
| 4                  | 58,9                          |   | 36,9  |
| 5                  | 61,7                          |   | 39,7  |
| Среднее значение   | 58,68                         | 22  | 36,68                                       |

Способность штранга к гранулированию или его хрупкость определялась по методике [33, 34] на приборе ИМП-1, который предназначен для испытаний макаронных изделий на прочность под нагрузкой до 40 Н при двухопорном изгибе. При этом испытуемый образец обладал хрупкостью, достаточной для сохранения формы при возможных деформационных нагрузках в процессе технологической обработки, при предельном усилии нагружения  $F_{н.}$  равном 12 Н.

Диапазон варьирования влажности, при которой образуется сухая корка на поверхности, ограничивается с одной стороны первоначальным ее образованием, что можно оценить визуально, и с другой стороны подгоранием поверхности продукта, что недопустимо. Экспериментальные исследования по определению конечной влажности подсушки показали, что корка на поверхности сырой клейковины образуется в диапазоне общей влажности 28÷36%. С целью выбора рациональной конечной влажности, обусловленной заданными органолептическими и структурно механическими характеристиками целесообразно провести их определение на различных

Таблица 3  
Контрольные органолептические показатели и способность к разрушению штранга клейковины пшеничной

Table 3  
Reference organoleptic indicators and destructibility of wheat gluten plug

| Баллы | Описание критериев |                                     |   |
|-------|--------------------|-------------------------------------|---|
|       | Цвет               | Внешний вид                         | Хрупкость (разрушение материала) $F_{н.}$ не более, Н |
| 5     | Светло-желтый      | Шероховатая, практически без трещин | 12÷13   |
| 4     | Желтый             | Шероховатая, без крупных трещин     | 10÷12   |
| 3     | Светло-коричневый  | Шероховатая, с крупными трещинами   | 8÷10  |
| 2     | Коричневый         | Шероховатая, с крупными подрывами   | 6÷8   |
| 1     | Темно-коричневый   | Поверхность рваная                  | Менее 6   |

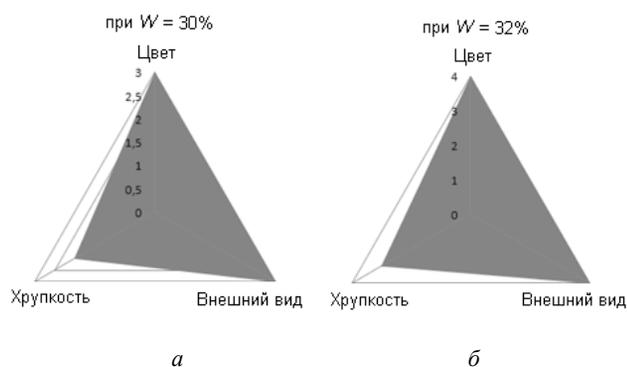


Рис. 6. Профилограммы органолептических и реологических показателей для полученных гранул 30% (а) и 32% (б) влажности

Fig. 6. Profilograms of organoleptic and rheological indicators the obtained granules with the moisture content of 30% (a) and 32% (b)

уровнях варьирования, т. е. с определенным шагом по влажности.

В табл. 3 представлены минимально допустимые контрольные органолептические дескрипторы качества подсушенного клейковинного штранга.

Профилограммы для наглядного представления результатов проведенной экспертной оценки органолептических и реологических показателей готовой к сушке сырой клейковины представлены на рис. 6, 7. С целью выбора рациональной конечной влажности выбран определенный шаг по влажности, равный 2%.

Наилучшие органолептические показатели и характеристики хрупкости наблюдались в диапазоне влажности 34–36%, однако наиболее предпочтительной, принимая во внимание превалирование значения хрупкости над внешним видом, является конечная влажность равной 36%.

### Заключение

Полученные результаты позволили определить гигроскопические характеристики сырой клейковины, обеспечивающие впоследствии устойчивость течения тех-

### Литература

1. Максимова Е. М. Разработка комплексной ресурсосберегающей технологии этанола на основе целенаправленного изменения реологических характеристик зерна. Автореферат диссертации, 2001 г.
2. Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».
3. Вакар А. Б. Белковый комплекс клейковины / Растительные белки и их биосинтез. М.: Наука, 1975. С. 38–58.
4. Вакар А. Б. Клейковина пшеницы. М.: Наука. 1961. 252 с.
5. Химия пищи. Книга 1: Белки: структура, функции, роль в питании / И. А. Рогов, Л. В. Антипова, Н. И. Дунченко и др. М.: Колос, 2000. 384 с.
6. Смирнов В. С. Химический Состав клейковины пшеничной муки // Мукомолье и элез.-склад: хоз-во, 1938. № 6 (13). С. 34.
7. Будницкая Р. С. Качество и химический состав клейковины муки драных и размольных систем сортового помола: [дис...]. М.: ИНХ им. Г. В. Плеханова, 1939. С. 245.

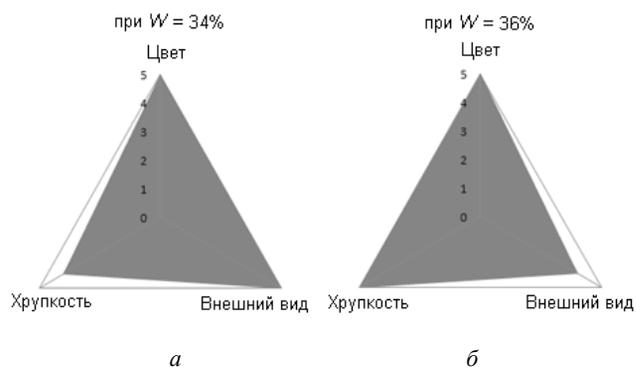


Рис. 7. Профилограммы органолептических и реологических показателей для полученных гранул 34% (а) и 36% (б) влажности

Fig. 7. Profilograms of organoleptic and rheological indicators the obtained granules with the moisture content of 34% (a) and 36% (b)

нологического процесса, что способствует увеличению производительности, снижению энергоемкости технологии и улучшению качества получаемых в итоге гранул, а также обосновать возможность применения самопроизвольного вакуумного замораживания с последующей инфракрасной подсушкой сырой клейковины непосредственно в рабочей камере аппарата.

Рациональным способом для дальнейшего повышения эффективности окончательной сушки нативной клейковины является ее обезвоживание в псевдооживленном слое подготовленных гранул, прошедших стадии самопроизвольной заморозки в вакууме и подсушке до образования на их поверхности сухой корочки, что позволит исключить их адгезионное слипание и «козлование» слоя дисперсного материала.

Дальнейшие исследования будут направлены на практическую реализацию способа совершенствования технологии получения гранулированного глютена и обоснования возможности использования в ней самопроизвольного вакуумного замораживания с последующей инфракрасной подсушкой сырой клейковины.

### References

1. Maximova E. M. Development of complex resource-saving ethanol technology based on targeted changes in the rheological characteristics of the grain. Abstract of dissertation, 2001. (in Russian)
2. Decree of the President of the Russian Federation of January 30, 2010 No. 120 “On the approval of the Doctrine of food security of the Russian Federation”. (in Russian)
3. Waqar A. B. Protein complex of gluten. In the book: Vegetable proteins and their biosynthesis, Moscow: Nauka, 1975. P. 38–58. (in Russian)
4. Waqar A. B. Wheat Gluten. Moscow: Science, 1961. 252 p. (in Russian)
5. Chemistry of food. Book 1: Proteins: structure, function, role in nutrition / I. A. Rogov, L. V. Antipova, N. I. Dunchenko et al. Moscow: Kolos, 2000. 384 p. (in Russian)
6. Smirnov V. S. The chemical composition of wheat flour gluten. *Flour and elez. — warehouse: Farm*, 1938. No 6 (13), p. 34. (in Russian)

8. Шкловский И. Ш. К вопросу о механизме образования клейковины. Сообщение 1-е. Влияние этилового спирта на процесс формирования клейковины и ее выход // Труды ОТИ. 1955. Вып. 5. С. 65.
9. Ванин С. В., Колпакова В. В. Функциональные свойства сухой пшеничной клейковины разного качества // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 1. С. 21–24.
10. Blish M. J. Wheat gluten // *Advances in protein chemistry*. 1945. No 2. P. 337.
11. Cook W. H., Rose. R. C. Hydrolysis of gluten induced by the solvent // *Canadian Journal Research*. 1935. No 2 (12). P. 243.
12. Sandstedt R. M., Blish M. J. A new characterization of the gluten proteins // *Cereal Chem.*, 1933. No 4 (10). P. 359.
13. Колпакова В., Юдина Т., Севериненко С., Ванин С. Сухая пшеничная клейковина эффективный улучшитель качества муки // *Хлебопродукты*. 2006. № 10. С. 50–53.
14. Дремучева Г. Ф., Безслаева Н. Г., Голубкова Г. В. Сухая пшеничная клейковина — перспективный улучшитель качества хлебобулочных изделий. Углич, 1996. С. 156.
15. Толстова Е. Г. Исследование клейковины пшеничной муки высшего сорта разных торговых марок // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016. № 1. (135). С. 147–152.
16. Соболева Е. В., Сергачева Е. С., Смертина Е. С., Федянина Л. Н., Лях В. А., Гладышчук О. С. Использование экстракта жимолости (*Lonicera Edulis*) в технологии хлебобулочных изделий // *Вестник Международной академии холода*. 2018. № 1. С. 26–32.
17. Livia Hajas, Katharina A. Scherf, Kitti Török, Zsuzsanna Bugyi, Sándor Tömösközi. Variation in protein composition among wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to identify cultivars suitable as reference material for wheat gluten analysis // *Food Chemistry*. 30 November 2018. Vol. 267. P. 387–394.
18. Michelle L. Colgrave, Keren Byrne, Crispin A. Howitt. Food for thought: Selecting the right enzyme for the digestion of gluten // *Food Chemistry*. 1 November 2017. Vol. 234. P. 389–397.
19. Гинзбург А. С., Громов М. А. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плоды. М.: Агропромиздат, 1987. 272 с.
20. Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовлагодобменные характеристики пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.
21. Алексанян И. Ю., Максименко Ю. А., Титова Л. М. Инновационные технологии переработки сырья растительного происхождения // *Инновационные технологии АПК России — 2014: материалы II конференции в рамках Международного научно-технологического форума «Биоиндустрия — основа зеленой экономики, качества жизни и активного долголетия»*. М., 2014. С. 12–18.
22. Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х. Общественное питание. Научно-практические основы выбора оптимальных рациона и технологии: монография. Germany, Saarbrücken, изд. LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 122 с.
23. Алексанян И. Ю., Максименко Ю. А. и др. Массообменные процессы в химической и пищевой технологии: учеб. пособие. СПб: Лань, 2014. 222 с.
24. Yongquan Wang, Jing Gan, Yun Zhou, Yongqiang Cheng, Satoru Nirasawa. Improving solubility and emulsifying property of wheat gluten by deamidation with four different acids: Effect of replacement of folded conformation by extended structure // *Food Hydrocolloids*. November 2017. Vol. 72. P. 105–114.
7. Budnitskaya R. S. Qualities and chemical composition of gluten of torn flour and grinding systems of high-grade grinding: [dis...]. Moscow, 1939. P. 245. (in Russian)
8. Shklovsky I. Sh. To the question about the mechanism of formation of gluten. Post 1 st. The effect of ethanol on the formation of gluten and its output. *Works of OTI*, 1955. vol. 5. p. 65. (in Russian)
9. Vanin S. V., Kolpakova V. V. Functional properties of dry wheat gluten of different quality. *News of universities. Food technology*. 2007. No. 1. P. 21–24. (in Russian)
10. Blish M. J. Wheat gluten. *Advances in protein chemistry*. 1945. No 2. p. 337.
11. Cook W. H., Rose. R. C. Hydrolysis of gluten induced by the solvent. *Canadian Journal Research*. 1935. N 2 (12), p. 243.
12. Sandstedt R. M., Blish M. J. A new characterization of the gluten proteins. *Cereal Chem.*, 1933. No 4 (10), p. 359.
13. Kolpakova V., Yudina T., Severinenko S., Vanin S. Dry Wheat Gluten is an effective flour quality improver. *Bread products*. 2006. No 10. p. 50–53. (in Russian)
14. Drimucheva GF, Bezslaeva N. G., Golubkova G. V. Dry wheat gluten — a promising improver of the quality of bakery products. *Uglich*, 1996. p. 156. (in Russian)
15. Tolstova E. G. Study of gluten of wheat flour of the highest grade of different brands. *Bulletin of Altai state agrarian University*. 2016. No. 1. (135). C. 147–152. (in Russian)
16. Soboлева E. V., Sergacheva E. S., Smertina E. S., Fedyanina L. N., V. A. Lyakh, Gladyschchuk O. S. The use of honeysuckle (*Lonicera edulis*) extract in baking technology. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2018. No 1. p. 26–32. (in Russian)
17. Livia Hajas, Katharina A. Scherf, Kitti Török, Zsuzsanna Bugyi, Sándor Tömösközi. Variation in protein composition among wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to identify cultivars suitable as reference material for wheat gluten analysis. *Food Chemistry*. 30 November 2018. Vol. 267. P. 387–394.
18. Michelle L. Colgrave, Keren Byrne, Crispin A. Howitt. Food for thought: Selecting the right enzyme for the digestion of gluten. *Food Chemistry*. 1 November 2017. Vol. 234. P. 389–397.
19. Ginzburg A. S., Gromov M. A. Thermophysical characteristics of potatoes, vegetables and fruits. Moscow: Agropromizdat, 1987. 272 p. (in Russian)
20. Ginzburg A. S., I. M. Savina. Mass-moisture exchange characteristics of foodstuffs Moscow: Light and food industry, 1982. 280 p. (in Russian)
21. Aleksanyan I. Yu., Maksimenko Yu. A., Titova L. M. Innovative technologies for processing raw materials of plant origin. *Innovative Technologies of the AIC of Russia — 2014: Proceedings of the II Conference in the framework of the International Scientific and Technological Forum “Bioindustry — the basis of a green economy, quality of life and active longevity.”* Moscow, 2014. p. 12–18. (in Russian)
22. Aleksanyan I. Yu., Nugmanov A. Kh.-H. Catering. Scientific and practical foundations of choosing the optimal diet and technology: monograph. Germany, Saarbrücken, ed. LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 122 p. (in Russian)
23. Aleksanyan I. Yu., Maksimenko Yu. A. et al. Mass transfer processes in chemical and food technology: study guide. SPb: Lan, 2014. 222 p. (in Russian)
24. Yongquan Wang, Jing Gan, Yun Zhou, Yongqiang Cheng, Satoru Nirasawa. Improving solubility and emulsifying property of wheat gluten by deamidation with four different acids: Effect

25. Никитина Л. М. Гинараметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. М.: Энергия, 1967 г. 499 с.
26. Брунауэр. Адсорбция газов и паров. Т. 1. Физическая адсорбция / пер. с англ. под ред. М. Н. Дубинина. М.: Госиздат иностр. лит., 1948. 784 с.
27. Supakorn Thammahiwes, Sa-Ad Riyajan, Kaewta Kaewtatip. Preparation and properties of wheat gluten based bioplastics with fish scale // *Journal of Cereal Science*. May 2017. Vol. 75. P. 186–191.
28. Ванин С. В., Колпакова В. В. Функциональные свойства сухой пшеничной клейковины разного качества // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2007. № 1. С. 21–24.
29. Патент РФ № 2284121. Способ получения пищевого клейковинного продукта / Сорочинский В. Ф., Мелешкина Е. П., Кизим В. П. Оpubл. 2006.
30. Андреев А. Н. Производство сдобных хлебобулочных изделий. СПб.: ГИОРД, 2003. 469 с.
31. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства: учеб. для вузов по специальности «Технология хлеба, мучных кондитер. и макарон. изделий» / Изд. 9-е, перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2005. 415 с.
32. Дробот В. И. Справочник инженера-технолога хлебопекарного производства. Киев: Урожай, 1990. 279с.
33. ГОСТ 27842–88. Хлеб из пшеничной муки (хлеб пшеничный, забайкальский, кишневский, красносельский, горчичный, арнаут киевский, гражданский, молочный, каравай русский и др.)
34. Патент РФ № 2264623 Способ определения прочности сухих макаронных изделий // Черных В. Я., Артемьева Е. В., Максимов А. С., Тузова Н. В., Артемьев С. Ю. Оpubл. 2005.
- of replacement of folded conformation by extended structure. *Food Hydrocolloids*. November 2017. Vol. 72. P. 105–114.
25. Nikitina L. M. Ginarometers and mass transfer coefficients in wet materials. Moscow, Energy, 1967. 499 p. (in Russian)
26. Brunauer Adsorption of gases and vapors. Vol. 1. Physical adsorption / Brunauer; per. from English by ed. M. N. Dubinin. Moscow: Gosizdat foreign. lit., 1948. 784 p.
27. Supakorn Thammahiwes, Sa-Ad Riyajan, Kaewta Kaewtatip Preparation and properties of wheat gluten based bioplastics with fish scale. *Journal of Cereal Science* May 2017. Vol. 75. P. 186–191.
28. Vanin S. V., Kolpakova V. V. Functional properties of dry wheat gluten of different quality. *Izvestia vuzov. Food technology*. 2007. No 1. Pp. 21–24. (in Russian)
29. RF patent № 2284121. Method of obtaining a food gluten product // Sorochinsky V. F., Meleshkina EP, Kizim V. P. Publ. 2006
30. Andreev A. N. Production of rich bakery products. SPb: GIORД, 2003. 469 p. (in Russian)
31. Auerman L. Ya. Technology of bakery production: proc. for universities in the specialty “Technology of bread, flour confectioner. and pasta. products “. Ed. 9th, Pererab. and add. SPb: Profession, 2005. 415 p. (in Russian)
32. Drobot V. I. Reference engineer of bread production. Kiev: Harvest, 1990. 279 p. (in Russian)
33. State standard 27842–88. Bread from wheat flour (wheat bread, Transbaikalian, Kishenevsky, Krasnoselsky, mustard, Arnaut Kiev, civil, dairy, Russian loaf, etc.) (in Russian)
34. RF patent No 2264623 Method for determining the strength of dry pasta // Chernykh V. Ya., Artemyeva EV, Maksimov AS, Tuzova N. V., Artemyev S. Yu. Publ. 2005. (in Russian)

### Сведения об авторах

#### Фоменко Екатерина Валерьевна

аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование» Астраханского государственного технического университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, tetatet.78@mail.ru

#### Алексаия Игорь Юрьевич

д. т. н., профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» Астраханского государственного технического университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, albert909@yandex.ru

#### Петровичев Олег Александрович

к. т. н., доцент кафедры «Технологические машины и оборудование» Астраханского государственного технического университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, albert909@yandex.ru

#### Лысова Вера Николаевна

к. т. н., доцент кафедры «Технологические машины и оборудование» Астраханского государственного технического университета, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, albert909@yandex.ru

### Information about authors

#### Fomenko Ekaterina Valer'evna

Graduate student of Department of Technological Machines and Machinery of Astrakhan State Technical University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 16, tetatet.78@mail.ru

#### Aleksanyan Igor Yurevich

D. Sc., Professor of Department of Technological Machines and Machinery of Astrakhan State Technical University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 16, albert909@yandex.ru

#### Petrovichev Oleg Aleksandrovich

Ph. D., Assistant Professor of Department of Technological Machines and Machinery of Astrakhan State Technical University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 16, albert909@yandex.ru

#### Lysova Vera Nikolaevna

Ph. D., Assistant Professor of Department of Technological Machines and Machinery of Astrakhan State Technical University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 16, albert909@yandex.ru