

## ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСПАНДИРОВАНИЯ КАРТОФЕЛЬНЫХ ЭКСТРУДАТОВ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУФАБРИКАТОВ

О.И. Аксенова, Г.В. Алексеев, В.В. Кривоустов

*Ускоренный темп жизни современного общества привел к увеличению потребления продуктов быстрого приготовления, в том числе снеков. Одним из наиболее популярных типов снеков являются картофельные чипсы, что обусловлено традиционностью сырья и широтой возделывания картофеля в нашей стране. Однако картофельные чипсы являются несбалансированным продуктом питания, содержат избыточное количество жира, соли и вкусоароматических добавок, что негативно сказывается на здоровье человека. Производить снеки сбалансированного состава, исключив дополнительные операции дражжирования во вкусоароматических добавках и обжаривания в масле, позволяет экструзионная обработка. Но поскольку процесс экструзии картофеля во всем мире практически не изучен, необходимо определить функционально-технологические свойства полуфабрикатов для получения качественных экструдатов. К основным показателям качества экструдированных расширенных снеков относят коэффициент экспандирования и текстуру. В ходе данного исследования было выявлено, что повышенный уровень влажности полуфабрикатов приводит к получению экструдатов плотной текстуры с пониженным коэффициентом экспандирования, а слишком низкий уровень влажности смеси приводит к снижению коэффициента экспандирования, пригоранию смеси и нежелательному потемнению экструдата. В результате проведенного исследования определено, что оптимальным полуфабрикатом является измельченный высушенный до 18% влажности картофель, при этом достигаются максимальный коэффициент экспандирования равный 400% и хорошие органолептические характеристики, соблюдаются низкие ресурсо- и энергоемкость технологического процесса.*

*Ключевые слова: закусочные продукты, экструзионная обработка, картофель, коэффициент экспандирования, функционально-технологические свойства, вторичное сырье пищевого назначения, биологическая ценность, полуфабрикат, органолептические свойства.*

Ускоренный темп жизни современного общества приводит к росту популярности продуктов быстрого приготовления, в том числе снеков. На сегодняшний день в промышленном производстве снеков особенно на основе зерновых культур важную роль играют экструзионные технологии.

Экструзия - это процесс принуждения материала к течению при различных рабочих параметрах процесса через формирующие отверстия при заданной скорости для создания разнообразных продуктов и максимальной сохранности пищевой ценности. Экструдеры в пищевой промышленности изначально использовались только для смешивания и формования макаронных изделий и готовых к употреблению зерновых пеллет. Сейчас они рассматриваются как высокотемпературные кратковременные биореакторы, которые преобразуют сырьевые ингредиенты в модифицированные полуфабрикаты и готовые продукты. В процессе экструзии тепловая и сдвиговая энергии прикладываются к сырьевому

материалу, вызывая структурные и химические изменения, изменения в биологической ценности продукта, такие как желатинизация и разрушение крахмала, денатурация белков, окисление жиров; разрушение витаминов, антиоксидантов, фитохимических соединений, образование вкусовых веществ, увеличение минеральной биодоступности и растворимости диетических волокон. Экструдеры обеспечивают термомеханический сдвиг необходимый для создания фитохимических изменений в сырье при интенсивном перемешивании с целью диффузии и гомогенизации ингредиентов, включая: транспортирование, смешение, сдвиг, нагрев или охлаждение, формование, удаление летучих веществ и влаги, создание вкуса и запаха, герметизация и стерилизация.

Сейчас на экструдерах перерабатывают 12% сырья и наблюдается тенденция к увеличению объема продукции [1]. Экструзионная обработка становится все более популярной в сравнении с традиционными мето-

## ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСПАНДИРОВАНИЯ КАРТОФЕЛЬНЫХ ЭКСТРУДАТОВ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУФАБРИКАТОВ

дам обработки благодаря ее автоматизированному контролю, высокой мощности, непрерывности процесса, высокой производительности, гибкости и адаптивности, энергетической эффективности, низкой стоимости. Более того она позволяет создавать и разрабатывать новые типы продуктов с высоким качеством, уникальными формой и характеристиками, экономией энергии при отсутствии сточных вод.

Принятие потребителем экструдированных продуктов во многом связано с удобством их употребления, ценой, привлекательным внешним видом и текстурой, которые особенно важны для закусочных продуктов. А физические параметры, такие как насыпная плотность, коэффициент экспандирования, текстура соответствуют качественным показателям готового продукта.

Необычные сырьевые сочетания, передовые экструзионные технологии и инновационные методы обработки сочетаются для создания новых закусочных продуктов, в тот момент времени, когда потребители, заботящиеся о правильности своего питания, ищут новые текстуры и вкусовые ощущения в сочетании с удобством потребления продукта [2].

Большинство снеков содержат повышенное количество жира, и недостаточное количество белков, витаминов и других питательных веществ. Рецепт закусочных продуктов может быть доработан таким образом, чтобы снеки по-прежнему удовлетворяли требованиям привлекательности для потребителя, однако содержали ингредиенты делающие их более полноценными. Ряд исследований сосредоточены на разработке биологически полноценных объемных снеков, посредством наиболее полезных для здоровья человека сочетаний сырьевых материалов [3].

Одной из наиболее возделываемых в нашей стране крахмальных культур является картофель, так валовый сбор картофеля в 2014 году составил 330 млн. тонн, при этом за последние 15 лет он вырос на 20%. Однако процесс экструдирования картофеля для разработки закусочных продуктов во всем мире практически не изучен, этому вопросу посвящены исследования Nath и Chattopadhyay, Cheyne, Barnes, Ненахова Р.В. и Острикова А.Н.

Nath и Chattopadhyay [4] разрабатывали вспученные готовые к употреблению снеки на основе смеси картофеля и сои с концентрацией соевой муки от 5 до 25%.

В работе [1] Ненаховым Р.В. разработа-

на технология производства хрустящих картофельных палочек, обогащенных сухим обезжиренным молоком в количестве 15%, которые обладают высокой пищевой ценностью, хорошими потребительскими свойствами, высоким содержанием белка и минеральных веществ.

Скудность существующих литературных данных по вопросу экструзии картофеля, из которого производят традиционные неполноценные снеки, побуждает к дальнейшим исследованиям в этой области [5-7].

Данное исследование, посвященное поиску зависимости коэффициента экспандирования картофельных экструдатов от функционально-технологических свойств полуфабрикатов, является подготовительным этапом, направленным на определение типа обработки, влажности и размера частиц картофельного полуфабриката для разработки биологически полноценного экструдированного снека на основе картофеля, обогащенного белками и диетическими волокнами из вторичного сырья пищевого назначения.

Как видно из описанных выше исследований экструзия картофеля и смесей на основе картофеля проводилась в основном на картофельной муке (картофельном порошке), получаемой дорогостоящим методом распылительной сушки. Цель предварительного исследования подобрать картофельный полуфабрикат для дальнейшей экструзионной обработки для снижения затрат на подготовку сырья и получения экструдатов улучшенного качества.

Картофельный полуфабрикат для дальнейшей экструзии может быть представлен в трех видах: готовые картофельные хлопья/мука/порошок, картофельное пюре, предварительное подсушенное до требуемого уровня влажности, измельченный высушенный картофель.

Экструзия сырого измельченного картофеля не рассматривается из-за изначально высокого уровня влажности сырого картофеля 49%, и необходимости экструдера со сверхдлинным шнеком и дополнительными подогревающими элементами, так как в противном случае вовремя экструдирования не успеют произойти разрыв крахмальных зерен и его желатинизация.

Готовые картофельные хлопья, полученные методом распылительной сушки, является наиболее распространенным и хорошо изученным. Однако из-за дороговизны их получения в данном исследовании они были отвергнуты, так как одна из задач основного исследования – это снижение себестоимости

готового продукта.

Таким образом, дальнейшая работа была направлена на исследование возможности экструзии подсушенного картофельного пюре и высушенного измельченного картофеля.

Опыт проводился на одношнековом экструдере КЭШ-2, общий вид которого представлен на рисунке 1. Для более эффективной обработки при небольших габаритных размерах экструдер имеет составной шнек, состоящий из подающего, промежуточного и прессующего элементов, между которыми установлены прессующие кольца. Внешний вид составных элементов шнека в разборе представлен на рисунке 2.

Для стабильной работы данного лабораторного экструдера размер частиц картофеля должен быть в диапазоне 0,5-25 мм, а влажность исходного сырья от 15 до 40%.



Рисунок 1- Общий вид экструдера КЭШ-2

Для получения картофельного полуфабриката в виде пюре, картофель предварительно очищали и отваривали, после чего отваренный картофель разминали, высушивали в конвективной сушилке при постоянной температуре, равной 55 °С (наиболее оптимальная температура для конвективной сушки картофеля представленная в ранее проведенных исследованиях различных авторов) в течении 3-4 часов до уровней влажности 37%, 30%, 26%. Более длительная сушка приводила к пригоранию пюре и образованию твердой корки, которые негативно сказывались на однородности рассматриваемого полуфабриката.

Экструдирование подсушенного пюре проводили на экструдере, описанном выше, при температуре в предматричной зоне 120 °С.

Для подготовки картофельных полуфабрикатов из измельченного высушенного картофеля, предварительно очищенный от ко-

журы картофель бланшировали с целью максимального выхода крахмала на поверхность клубней. Затем клубни картофеля измельчали на планетарном миксере KitchenAid с ножом-барабаном для мелкой шинковки при частоте вращения рабочего органа 180 об/мин. После чего измельченный картофель тонким слоем (около 3 мм) раскладывали на противни конвективной сушилки и сушили при постоянной температуре равной 55 °С в течении 4-5 часов до различных уровней влажности.



Рисунок 2 – Шнек экструдера в разобранном виде

Экструдирование модельной среды в виде измельченного высушенного картофеля так же проводили на экструдере, описанном выше, при температуре в предматричной зоне 120 °С. Исходное сырье, при начальной влажности от 15% до 30% подавали в загрузочный бункер экструдера. Далее в корпусе оно захватывалось подающим шнеком и транспортировалось при помощи промежуточного и прессующего шнеков, вращающихся с частотой 4 об/с, к формирующей матрице, через которую выпрессовывалось в качестве готового экспандированного продукта.

Результаты экструзии подсушенного картофельного пюре представлены на рисунке 3 и в таблице 1, при этом необходимо отметить, что подача пюре в загрузочное отверстие экструдера значительно затруднена адгезионными свойствами пюре, что ведет к усложнению, а, следовательно, удорожанию технологического процесса.

В таблице 1 приведены текстура экструдата и коэффициент его экспандирования, которые являются, как отмечалось ранее, основными качественными показателями экструдированных снеков. Уровни начальной и конечной влажности исследуемого сырья, приведенные в таблице 1, определяли на

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2017**

**ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСПАНДИРОВАНИЯ  
КАРТОФЕЛЬНЫХ ЭКСТРУДАТОВ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПОЛУФАБРИКАТОВ**

влажномере Элвиз-2, коэффициент расширения вычисляли как отношение диаметра экструдата к диаметру фильеры матрицы.

Из анализа данных приведенных в таблице 1 и рисунка 3 видно, что экструдат из картофельного пюре не обладает желательной хрусткой текстурой, имеет липкую или рыхлую структуру, плохо расширяется и имеет внешний вид не характерный для закусовых продуктов для всех уровней влажности.

Таким образом подсушенное картофельное пюре было отвергнуто в качестве полуфабриката, для производства закусовых продуктов.

Результаты экструзии измельченного высушенного картофеля приведены на рисунке 3 и в таблице 1.

Необходимо отметить, что коэффициент расширения, отмеченный \* и рассчитанный, как описано в примечании к таблице 1, значительно отличается от коэффициента расширения без \*, что вызвано разными габаритными размерами жгутов. Поэтому было проведено дополнительное исследование. Его результаты приведены в качестве уточнения. Было проведено исследование экструзии измельченного высушенного картофеля в диапазоне влажности от 22% до 18% с шагом 1%. В ходе дополнительно эксперимента наблюдался постоянный обрыв большого полого жгута в тонкий не полый жгут, при этом экструдаты не обладали желаемой хрусткой текстурой и значительным коэффициентом расширения.

Таблица 1 - Результаты экспериментов

Начальная влажность полуфабриката, %	Конечная влажность экструдата, %	Внешний вид экструдата	Коэффициент расширения экструдата, %
<b>Картофельное пюре</b>			
37	15	Жидкая бесформенная масса зеленоватого оттенка	-
30	11	Липкий плотноспрессованный жгут характерного для картофельного пюре цвета	116
26	7	Рыхлый не липкий жгут более темного цвета большего диаметра	133
<b>Высушенный измельченный картофель</b>			
30	10	Темный плотный очень твердый липкий полый жгут с включениями не проэкструдированных кусочков	66
27	8	Более светлый и менее плотный и твердый слегка липкий полый жгут с незначительными включениями не проэкструдированных кусочков	71
24	6,5	Более расширенный полый жгут сохраняющий форму с незначительными включениями не проэкструдированных кусочков	79
22	5	Вспученный светлый полый жгут однородной структуры без посторонних включений, характерного для экструдированного продукта внешнего вида, однако достаточно плотный и твердый. Наблюдается переход к ряду более тонких заполненных жгутов.	83
18	3,5	Светлый хорошо вспученный заполненный жгут с пористой структурой, характерной хрусткой текстурой, привлекательным внешним видом и ароматом	400*
15	1,5	Потемневший менее вспученный заполненный жгут с пористой более плотной структурой, характерной хрусткой текстурой. Начинается пригорание, из-за которого происходит обрыв жгута и хлопьеобразование	308*

Примечание: коэффициент расширения \* - определялся как отношение диаметра жгута к высоте щели с одной стороны между фильерой матрицы и прижимной гайкой.



Рисунок 3 – Экструдат из подсушенного картофельного пюре

Требуемые для экструдированных закусочных продуктов хрустящая текстура, пористая структура, наибольший коэффициент экспандирования 400% и хорошие органолептические свойства стабильно наблюдались уэкструдата из полуфабриката 18% влажности.



Рисунок 4 – Экструдат из высушенного измельченного картофеля

В ходе предварительного исследования выявлено, что повышенный уровень влажности полуфабрикатов приводит к получению экструдатов плотной текстуры с пониженным коэффициентом экспандирования, а слишком низкий уровень влажности смеси приводит к снижению коэффициента экспандирования, пригоранию смеси к последним виткам шнека и фильере матрицы, нежелательному потемнению экструдата в ходе реакции меланоидинообразования. Из этого следует, что подбор функционально-технологических

свойств полуфабрикатов для получения картофельных экструдатов с максимальным коэффициентом экспандирования, пористой хрустящей текстурой и хорошими органолептическими показателями является актуальной задачей.

Таким образом, в ходе эксперимента было выявлено, что оптимальным полуфабрикатом на основе картофеля для представленного одношнекового экструдера – является измельченный высушенный до 18% влажности картофель, при этом достигаются максимальный коэффициент экспандирования равный 400% и благоприятные органолептические характеристики (хрустякость, пористость, характерный для картофеля кремовый цвет и аромат), а так же соблюдается экономичность технологического процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ненахов Р.В. Разработка и научное обоснование способа производства экструдированных картофелепродуктов, обогащенных белковыми добавками [Текст] / Р.В. Ненахов Дисс. канд. техн. наук. - Воронеж: - 2001. - 147 с.
2. Mohammed, A. A. A., Jowitt, R. and Brennan, J. G. Instrumental and sensory evaluations of crispness in friable foods. – Journal of Food Engineering - №1 – 1982. – P. 55–75.
3. Delgado-Nieblas C.I., Zazueta-Morales J.J., Gallegos-Infante J.A., Aguilar-Palazuelos E., Camacho-Hernandez I.L., Ordorica-Falomir C.A., Peres de Melo M., Carrillo-Lopez A. Elaboration of functional snack foods using raw materials rich in carotenoids and dietary fiber: effect of extrusion processing/ CyTA – Journal of Food. - №1 – 2015. – P. 69-79
4. Nath, A. and Chattopadhyay, P. K. Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural changes in ready-to-eat potato–soy snack using high-temperature short time air puffing. - LWT Food Sci. Technol.- №41 – 2008. – P. 707–715.
5. Cheyne A., Barnes J., Gedney S., Wilson D.I. Extrusion behavior of cohesive potato starch pastes: II. Microstructure-process interactions. – Journal of Food Engineering - №66 – 2005. – P. 13-24.
6. Suknark K., Phillips R.D., Huang Y.-W. Tapioca-fish and Tapioca-Peanut snacks by twin-screw extrusion and deep-fat frying/ Journal of food science - №2 – 1999 – P. 303 – 308
7. Heidenreich, S., Jaros, D., Rohm, R. and Ziems, A. Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps. - J. Texture Stud. - №35 – 2004. – P. 621–633.

**Аксенова О. И.** - аспирант кафедры процессов и аппаратов пищевых производств ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2017

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСПАНДИРОВАНИЯ  
КАРТОФЕЛЬНЫХ ЭКСТРУДАТОВ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПОЛУФАБРИКАТОВ

*национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики», e-mail: oksii280491@yandex.ru.*

**Алексеев Г. В.** - д.т.н., профессор кафедры процессов и аппаратов пищевых производств ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики», e-mail:

*gva2003@mail.ru.*

**Кривопустов В. В.** - магистрант кафедры процессов и аппаратов пищевых производств ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики», тел. 8(965)0628567.