

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.001
УДК 66-96

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ РЫБОРАСТИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАСШИРЕННЫХ КАРТОФЕЛЬНЫХ СНЕКОВ

О.И. Аксенова

Актуальность представленной работы состоит в том, что выявленные в ходе исследования кинетические зависимости позволяют определить оптимальные параметры технологического процесса экструдирования рыборастворительной смеси сбалансированного состава. Целью работы является установление кинетических закономерностей процесса получения расширенных картофельных снеков в одношнеком экструдере, описывающих зависимость температуры и давления в предматричной зоне, и коэффициента расширения экструдата, от таких переменных параметров исследуемого процесса, как площадь поперечного сечения формирующего отверстия и начальная влажность рецептурной рыборастворительной смеси. Полученные в результате эмпирического исследования зависимости позволили выявить, что оптимальными параметрами технологического процесса экструзии рыборастворительной смеси при которых достигаются требуемые основные физические качественные показатели расширенных снеков - наибольший коэффициент расширения $S=300\%$ и пористая текстура экструдата - являются влажность рецептурной смеси 28-30%, температура в предматричной зоне 140-150 °С, частота вращения шнека 10,8 об/с, давление 4,5-5 МПа и площадь сечения формирующего отверстия $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Полученные данные позволили разработать способ производства новых экструдированных картофельных снеков, рецептура которых включает побочные продукты переработки лососевых рыб, отличающихся высокой пищевой ценностью и низкой себестоимостью.

Ключевые слова: кинетические зависимости, горячая экструзия, картофельные снеки, коэффициент расширения, побочные продукты переработки, температура предматричной зоны, площадь сечения формирующего канала, влажность рыборастворительной смеси, способ производства снеков, пищевая ценность.

Основной источник углеводов в рационе питания современного человека - это промышленно обработанные крахмальные продукты, такие как хлеб, макаронные изделия, быстро развариваемые крупы, сухие завтраки, снеки и прочие.

Ритм жизни городского населения приводит к тому, что у человека не остается достаточно времени на приготовление и употребление полноценных приемов пищи. Таким образом, потребление снеков, которые удобно использовать в качестве перекуса «на ходу», растет.

Снеки – это мелкоштучные готовые к употреблению продукты, для которых органолептические свойства являются наиболее важным критерием качества готового продукта.

В современном промышленном производстве расширенных снеков экструзия играет особенно важную роль.

В настоящее время большинство экструдированных снеков производится из зерновых культур с высоким содержанием крахмала,

они отличаются низким уровнем белка и пищевых волокон. Многие исследователи [1-4] отмечают высокое содержание сахара и соли в снеках, их повышенную калорийность и биологическую бедность. Однако в настоящее время в пищевой промышленности наблюдается тенденция к разработке расширенных снеков со сбалансированным составом посредством сочетания сырьевых ингредиентов.

Анализ известных работ [5, 6] показал, что процесс производства экструдированных снеков на основе картофеля практически не изучен, так как основной объем работ посвящен процессу экструдирования зерновых культур и их смесей с бобовыми. Данное упущение имеет большую важность, так как картофель является одной из наиболее широко возделываемых в нашей стране крахмальных культур. Скудность литературных данных об экструзии картофеля, из которого производят традиционные снеки типа чипсов, побуждает к дальнейшим исследованиям в этой области.

Актуальность работы состоит в том, что

выявленные в ходе исследования кинетические зависимости позволяют определить оптимальные параметры технологического процесса экструдирования рыборастворительной смеси сбалансированного состава. Что делает возможным в дальнейшем разработку способа производства новых экструдированных картофельных снеков обоснованной рецептуры, которые бы позволили снизить уровень дефицита белка и диетических волокон в рационах питания населения по всему миру. За счет включения в состав картофельного экструдата рыбы [7], аминокислотный состав белков которой более сбалансирован, чем аминокислотный состав белков мяса и молочных продуктов, достигается лучшая биологическая ценность экструдированного картофельного снека.

Целью работы является установление кинетических закономерностей процесса получения экструдированных картофельных снеков, описывающих зависимости температуры, давления и коэффициента расширения от переменных параметров исследуемого процесса в одношнековом экструдере.

Сбалансированность состава экструдированных снеков не может быть обеспечена в монокомпонентных продуктах, поэтому целесообразно обогащать снеки на основе одного крахмального компонента, чаще всего риса, кукурузы или пшеницы, различными белковыми и волокнистыми добавками. Так как обогащение рецептуры за счет полноценных компонентов (таких как мышечная ткань рыбы и птицы, мясо, яйца, качественные овощи и фрукты) значительно удорожает готовый продукт, то обогащение снеков за счет побочных продуктов перерабатывающих производств является более привлекательным путем решения проблемы дисбаланса состава [3, 8].

Выбирая основные рецептурные компоненты рыборастворительной смеси для производства снеков, руководствовались следующими критериями отбора: биологическая ценность стремится к максимальному значению, содержание жира – к минимальному (так как содержание жира в экструдированной смеси более 3% значительно уменьшает коэффициент расширения экструдата), содержание крахмала (по сухим веществам) не менее 50%, соотношение белки/углеводы стремится к 1/4 (в соответствии с теорией сбалансированного питания Покровского А.А.), себестоимость компонентов смеси должна быть минимальна, а распространенность компонентов смеси – максимальна.

Исходя из особенностей культивирования и переработки в нашей стране, и с учетом

литературных данных в качестве крахмальной основы для производства снека был выбран картофель, обогащение продукта белками осуществляется за счет теши и приголовков лосося, а обогащение пищевыми волокнами – за счет сухого свекловичного жома.

Использование в качестве источников белка и диетических волокон побочных продуктов рыбоперерабатывающих (теши и приголовки лосося) и сахарных (свекловичный жом) производств позволяет существенно повысить биологическую ценность снеков без значительного повышения себестоимости готового продукта.

Так же необходимо отметить, что побочные продукты рыбоперерабатывающих производств (пищевые рыбные отходы) являются мало востребованными в нашей стране: отчасти, вопрос их утилизации является проблемой. Данные продукты переработки отличаются не худшей пищевой ценностью, чем сама рыба. При этом специфика побочных продуктов переработки лососевых рыб (высокая жирность ~ 20%) существенно усложняет их переработку в костную муку, а сбыт лососевого жира не налажен [7]. Вопрос утилизации свекловичного жома стоит не так остро, как вопрос переработки пищевых отходов из лососевых рыб, однако, ежегодно в России в качестве побочного продукта образуется около 22 млн. тонн свекловичного жома, до 25% которого, остается не востребованным.

Для разработки состава комбинированной смеси использовалась методика расчета, приведенная в [9] Остриковым А.Н.

Таким образом, в результате расчетов было получено, что процентное соотношение выбранных рецептурных ингредиентов «картофель – лосось (теши и приголовки) – свекловичный жом» равно 50-31-19%, позволяет достичь поставленных выше критериев:

- биологическая ценность=max=88%,
- жир=min=3%,
- крахмал=67%>50%,
- соотношение белки/углеводы=1/4.

Так как процесс экструзии картофеля во всем мире мало изучен, необходимо было определить вид картофельного полуфабриката, используемого для производства снеков. В исследовании [10] показано, что требуемые для экструдированных расширенных снеков хрустящая текстура, пористая структура, наибольший коэффициент расширения равный 400% и хорошие органолептические свойства экструдата стабильно наблюдались у экструдата из полуфабриката в виде высушенной (конвективным способом сушки в течение 5 часов при температуре в сушильной камере 55

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2018

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ РЫБОРАСТИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАСШИРЕННЫХ КАРТОФЕЛЬНЫХ СНЕКОВ

°С) до 18% влажности картофельной стружки.

Определение оптимальных режимов экструдирования картофельных снеков проводили на одношнековом экструдере КЭШ-2, показанном на рисунке 1.



1 – загрузочный бункер, 2 – питающий корпус, 3 – прессующий корпус, 4 – гайка-матрица

Рисунок 1 - Внешний вид экструдера КЭШ-2

Рабочий орган экструдера – шнек – выполнен сборным из однозаходных элементов с разным шагом нарезки витка, греющих шайб и гайки, фиксирующей наборные элементы на валу. Конец шнека выполнен в виде сужающегося конуса.

Матрица экструдера представляет собой единую деталь, которая фиксируется в корпусе при помощи резьбы, и внутри выполнена в виде расширяющегося конуса. Таким образом, регулируя зазор между формирующим отверстием матрицы и конусом шнека, можно регулировать величину давления в прессующем корпусе экструдера. В эмпирическом исследовании использовались сменные матрицы со следующим рядом диаметров формирующего отверстия (d): 17 мм, 19 мм, 21 мм, 23 мм.

Нагрев сырья в экструдере происходит только за счет преобразования механической энергии в тепловую, дополнительного нагрева от внешних источников тепла не предусмотрено – автогенный режим работы экструдера. Температуру в прессующем корпусе измеряли при помощи погружного термосопротивления, температуру по длине шнека от зоны загрузки до зоны разряжения (выход жгута из формирующей матрицы) - при помощи тепловизора.

Подготовку рецептурной смеси для экспериментов выполняли, как описано ниже.

Высушенный картофель измельчали в

молотковой дробилке и просеивали, так же как и свекловичный жом, через сито с диаметром отверстий 2 мм. Теши и приголовки лосося измельчали в фарш в блендере.

Картофельный полуфабрикат, фарш из теши и приголовков лосося, свекловичный жом в рассчитанном соотношении смешивали в течение 10 минут в миксере до однородности. Соотношение компонентов рыборастительной смеси определяется сбалансированной по белку и пищевым волокнам рецептуре: высушенный картофель – 50%, теши и приголовки лосося – 31%, свекловичный жом – 19%.

Определение кинетических закономерностей процесса получения экструдированных картофельных снеков из рыборастительной смеси рассчитанного состава проводили, как описано ниже.

В предварительно разогретый пропуская подсолнечного жмыха до требуемой температуры экструдер КЭШ-2 загружали полученную смесь. Далее обрабатывали рыборастительную смесь в установленном режиме. При этом изменяли начальную влажность рецептурной смеси, температуру нагрева в предматричной зоне экструдера и диаметр выходного отверстия матрицы (площадь поперечного сечения формирующего отверстия).

Экструдат выходил из фильеры матрицы в виде бесконечного расширенного полого жгута, который в заключении нарезался на колечки требуемой толщины.

Первая порция загружаемой рыборастительной смеси с влажностью, заданной для получения требуемых свойств экструдата, приводила к колебаниям давления и температуры в рабочей камере экструдера. После 60 секунд пропускания смеси устанавливался рабочий режим, и затем трехкратно с перерывом в 60 секунд отбирался полученный экструдат для определения влажности и коэффициента расширения, а так же фиксировалась температура по длине шнека.

Исследование основных кинетических закономерностей процесса получения экструдированных картофельных снеков позволяет понять и оценить физику процесса экструзии [11,12].

Одним из основных факторов, определяющих качество экструдированных снеков, является стабильность значения температуры в предматричной зоне экструдера, так как значительные отклонения приводят к разложению термолабильных питательных веществ. Таким образом, изучение изменения температуры экструдата по длине рабочей камеры экструдера является необходимым условием

для определения оптимальных условий процесса.

Давление в экструзионном процессе определяет глубину физико-химических изменений в рыборастворительной смеси в ходе процесса, то есть качество готового экструдата. В свою очередь увеличить давление в рабочей зоне экструдера можно уменьшив площадь проходного сечения формующего отверстия матрицы экструдера, что обусловлено большим сопротивлением выходному потоку (противодавление создаваемое матрицей), и как следствие, увеличением эффекта диссипации. Так же уменьшение площади проходного сечения формующего отверстия матрицы экструдера, то есть диаметра формующего отверстия, приводит к увеличению времени нахождения продукта в рабочей камере экструдера, что с ростом давления способствует увеличению температуры.

По результатам протоколов кинетических исследований процесса экструдирования рыборастворительной смеси были построены графики, приведенные на рисунках 2-5.

Как видно из рисунка 2, распределение температуры по длине рабочей камеры экструдера характеризуется возрастанием от загрузочной зоны (питающий корпус) к зоне сжатия (прессующий корпус) и до предматричной

зоны экструдера. В матрице изменения температуры не происходит, что связано с относительно небольшой длиной формующего канала и отсутствием внешнего нагрева. При выходе продукта из матрицы происходит резкое снижение его температуры из-за мгновенного (подобного взрыву) выделению значительного количества энергии, затрачиваемой на переход влаги, находящейся в смеси, из жидкого состояния в парообразное.

Необходимо отметить, что при движении рыборастворительной смеси от загрузочного отверстия до матрицы происходит повышение давления и температуры, в результате происходит термическое разрушение микроструктуры крахмальных зерен и переход смеси в расплав. При чрезмерно больших значениях площади проходного сечения формующего отверстия матрицы экструдера достаточное давление не достигается, таким образом, отсутствует переход компонентов смеси в расплав из-за недостаточного количества энергии. При чрезмерно малых значениях площади проходного сечения формующего отверстия матрицы экструдера давление возрастает чрезмерно, что приводит к пригоранию экструдата и нарушению стабильной работы экструдера.

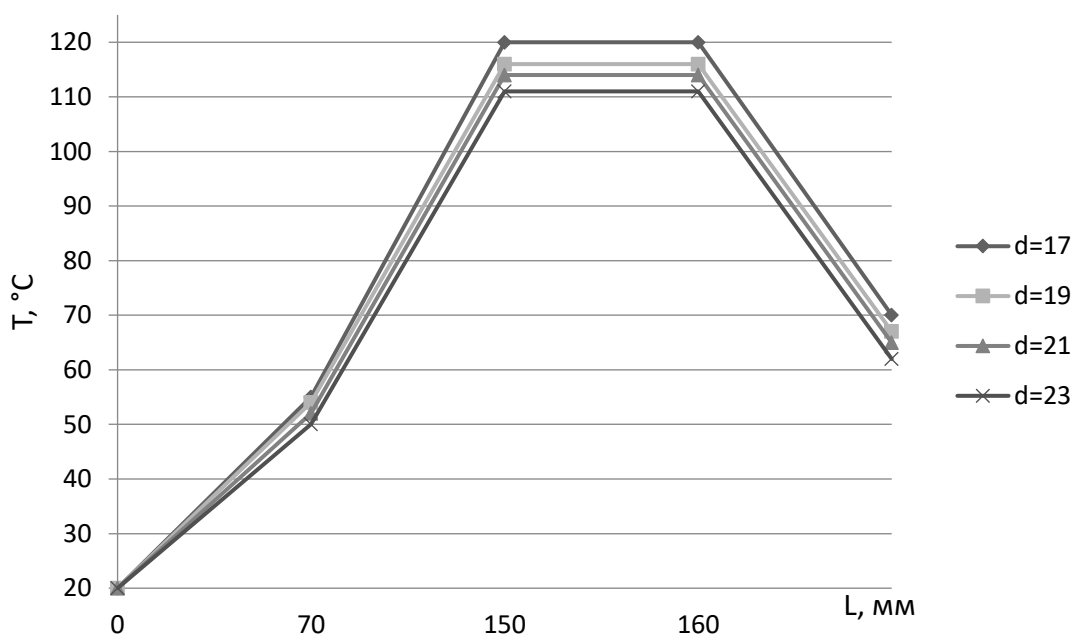


Рисунок 2 – Зависимость температуры в рабочей камере экструдера от расстояния до зоны декомпрессии (по длине шнека) при диаметре формующего отверстия $d=17$ мм, $d=19$ мм, $d=21$ мм, $d=23$ мм и уровне влажности смеси $W=23\%$.

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ
РЫБОРАСТИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАСШИРЕННЫХ
КАРТОФЕЛЬНЫХ СНЕКОВ

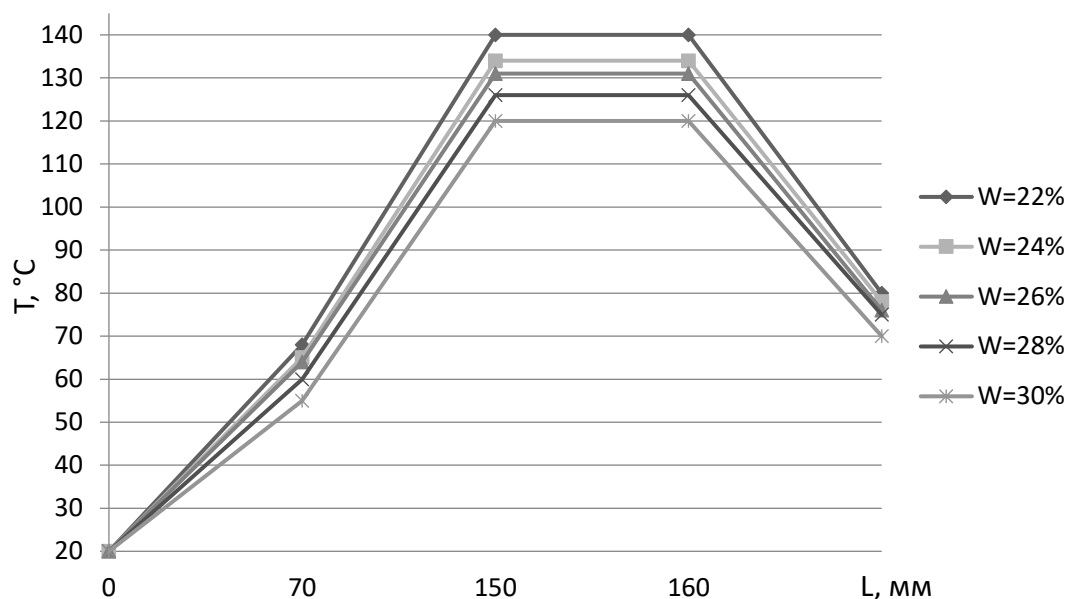


Рисунок 3 – Зависимость температуры в рабочей камере экструдера от расстояния до зоны декомпрессии (по длине шнека) при начальной влажности рыборастительной смеси $W=22\%$, $W=24\%$, $W=26\%$, $W=28\%$, $W=30\%$ и диаметре формующего отверстия $d=23$ мм.

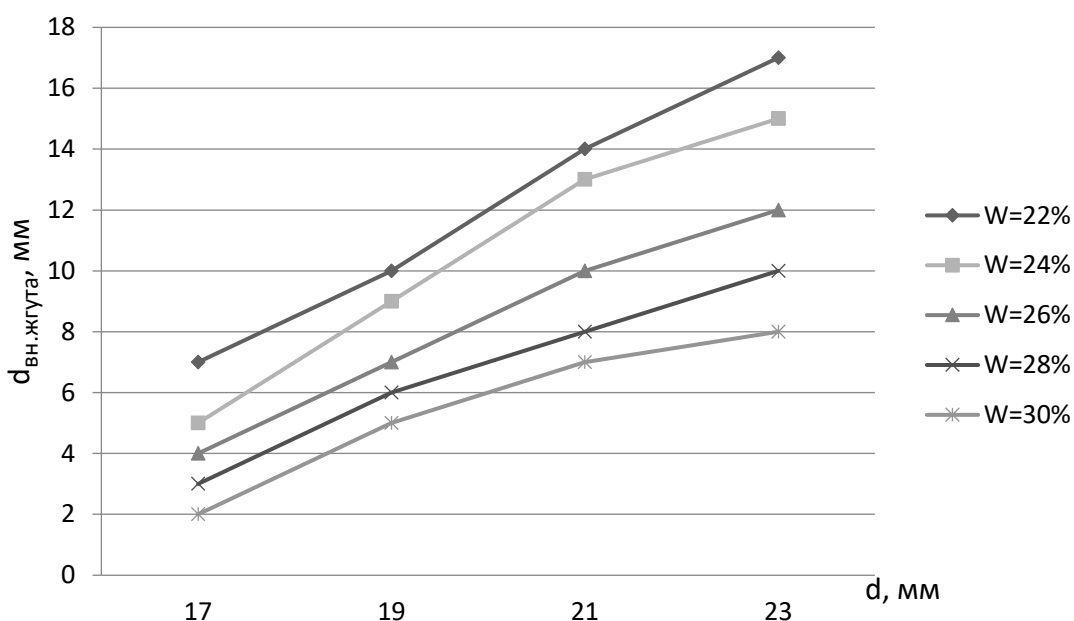


Рисунок 4 – Зависимость внутреннего диаметра жгута экструдата от диаметра формующего отверстия при начальной влажности рыборастительной смеси $W=22\%$, $W=24\%$, $W=26\%$, $W=28\%$, $W=30\%$ и частоте вращения шнека $n=10,8$ об/мин

Зависимость между начальной влажностью рыборастительной смеси и давлением в рабочей камере экструдера является обратно пропорциональной. С увеличением влажности рыборастительной смеси ее вязкость будет уменьшаться, что приведет к уменьшению трения, и, следовательно, температуры в рабочей зоне экструдера, как показано на рисунке 3.

Как видно из рисунка 4, с уменьшением диаметра формующего отверстия матрицы внутренний диаметр жгута экструдата уменьшается. Однако чрезмерно малый зазор между конусом шнека и формующим отверстием матрицы приведет к подгоранию продукта и заклиниванию экструдера.

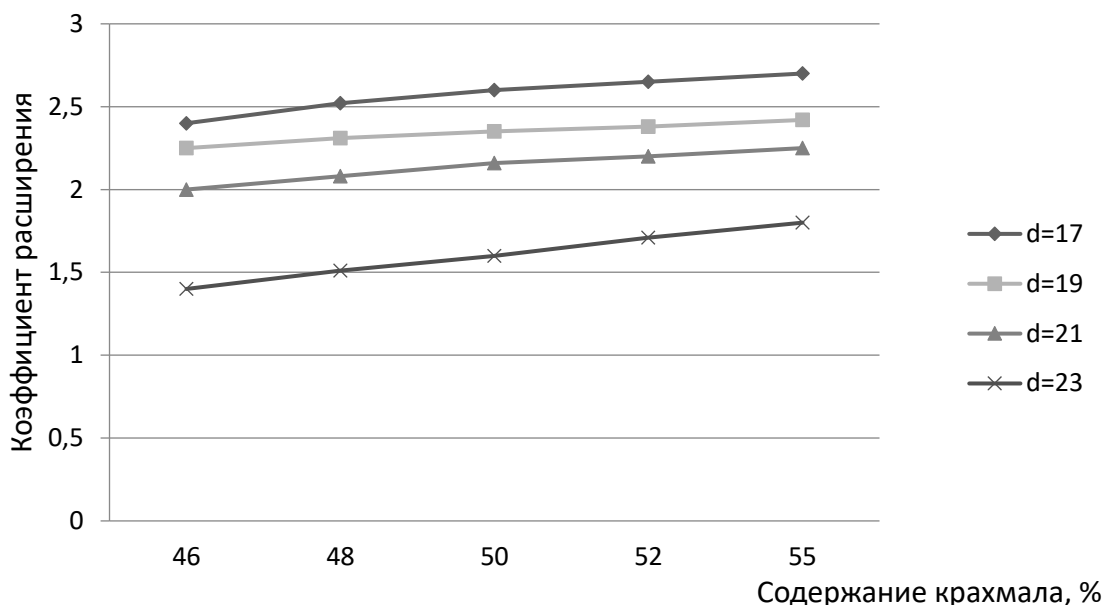


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента расширения эктрудата от содержания крахмала в выборочной смеси при начальной влажности смеси $W=22\%$, $W=24\%$, $W=26\%$, $W=28\%$, $W=30\%$ и частоте вращения шнека $n=10,8$ об/с.

Одной из основных качественных характеристик экструдированного картофельного снека был выбран коэффициент расширения, который определяли как отношение внутреннего диаметра жгута эктрудата к величине зазора между конусом шнека и формующим отверстием матрицы. Как видно из рисунка 5, рост коэффициента расширения снека прямо пропорционален содержанию крахмала в эктрудруемой смеси за счет увеличения доли разорвавшихся крахмальных зерен и обратно пропорционален диаметру формующего отверстия за счет уменьшения величины перепада давления между атмосферой и давлением в рабочей камере эктрудера.

Эксперименты позволили выявить, что оптимальными параметрами технологического процесса эктрудзии выборочной смеси при которых достигаются требуемые основные физические качественные показатели расширенных снеков - наибольший коэффициент расширения $S=300\%$ и пористая текстура эктрудата – являются влажность рецептурной смеси 28-30%, температура в предматричной зоне 140-150 °С, частота вращения шнека 10,8 об/с, давление 4,5-5 МПа и площадь сечения формующего отверстия $2,0 \cdot 10^{-4}$ м².

В ходе проделанного исследования было выявлено, что основными факторами, влияющими на протекание эктрудзионного процесса, являются: площадь сечения формующего от-

верстия матрицы и начальная влажность рецептурной смеси.

Основанные на полученных кинетических зависимостях оптимальные параметры эктрудзионного процесса выборочной смеси позволили разработать способ производства новых эктрудированных картофельных снеков, отличающихся высокой пищевой ценностью и низкой себестоимостью, что способствует решению проблемы дефицита белка в рационах питания населения.

Таким образом, в результате проведенного исследования были установлены кинетические закономерности процесса получения эктрудированных картофельных снеков из выборочной смеси рассчитанной рецептуры, описывающие зависимости температуры и давления от переменных параметров исследуемого процесса в одношнековом эктрудере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко В.Н. Разработка и научное обоснование способа получения эктрудированных гороховых палочек с белковой добавкой [Текст] / В.Н. Василенко Дисс. канд. техн. наук. – Воронеж: - 2003. – 189 с.
2. Напольских М.С. Научное обоснование способа производства растительно-мясных эктрудатов в двухшнековом эктрудере [Текст] / М.С. Напольских Дисс. канд. техн. наук. – Воронеж: - 2013. – 232 с.
3. Alam, M.S. Extrusion and extruded products: **ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2018**

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ РЫБОРАСТИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАСШИРЕННЫХ КАРТОФЕЛЬНЫХ СНЕКОВ

changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review/ M.S. Alam, J. Kaur, H. Khaira, K. Gupta // Critical reviews in food science and nutrition. – 2016. - № 56. – P. 445-473.

4. Верболоз, Е.И. Возможности производства нового экструдированного продукта / Е.И. Верболоз, А.Н. Пальчиков, О.И. Аксенова, О.В. Николаева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. - 2015. - № 2(24) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://processes.ihbt.ifmo.ru/ru/article/13440/vozmozhnosti_proizvodstva_novogo_ekstrudirovannogo_produkta_.htm, своб.

5. 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.

6. Cheyne, A. Extrusion behaviour of cohesive potato starch pastes: I. Rheological characterization / A. Cheyne, J. Barnes, D.I. Wilson // Journal of Food Engineering.– 2005. - №66. – P. 1–11.

7. Алексеев, Г.В. Влияние тепловой обработки на функциональные свойства рыбных фаршей / Е.И. Верболоз, Г.В. Алексеев, О.И. Аксенова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. - 2016. - № 1. - С. 107-112.

8. Михайлова, А.В. Образование и переработка отходов пищевой промышленности в Алтай-

ском крае / А.В. Михайлова, Н.Я. Тейхреб // Ползуновский вестник. – 2015. - № 2. – С.59-63.

9. Остриков, А.Н. Козэкструзионные продукты: новые походы и перспективы [Текст] / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко, И.Ю. Соколов –М.: ДеЛипринт, 2009. - 232 с.

10. Аксенова, О.И. Эмпирическое исследование зависимости коэффициента экспандирования картофельных экструдатов от функционально-технологических свойств полуфабрикатов / О.И. Аксенова, Г.В. Алексеев, В.В. Кривоустов // Ползуновский вестник. - 2017. - № 2. - С. 8-13.

11. Ding, Q. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks / Q. Ding, P. Ainsworth, A. Plukett, G. Tucker, H. Marson // Journal of Food Engineering.– 2006. - № 73. – P. 142–148.

12. Calvo-Lopez, A.D. Optimization of extrusion process of expanded snakes based on potato starch in a single step for the formation of type IV resistant starch / A.D. Calvo-Lopez, F. Martinez-Bustos // Plant Food for Human Nutrition. – 2017/ - № 72(3). – P.243-249.

Аксенова Ольга Игоревна, аспирант кафедры процессов и аппаратов пищевых производств ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», e-mail: oksi280491@yandex.ru