

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КОНВЕКТИВНОЙ ПЕНОСУШКИ ЖЕЛАТИНОВОГО БУЛЬОНА ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РЫБ ЧАСТИКОВЫХ ПОРОД

Н. П. Дяченко¹, Као Тхи Хуе², Э. П. Дяченко^{3,4}, Ю. А. Максименко¹

¹*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

²*Тхюйлой университет,
Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам*

³*Научно-консалтинговая корпорация «МетаСинтез»,
Москва, Российская Федерация*

⁴*Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –
филиал Федерального научного центра овощеводства,
д. Веря, Московская область, Российская Федерация*

Экспериментальным путем изучена интенсивность процесса конвективной пеносушки желатинизированного желатинового бульона, приготовленного из отходов переработки рыб частиковых пород Астраханского региона. Продукт сушили во вспененном состоянии в форме слоя при одностороннем конвективном энергоподводе, а также во вспененном и в нативном состояниях в форме штранг круглого сечения при всестороннем конвективном энергоподводе. Выбраны и обоснованы диапазоны варьирования основных факторов, влияющих на процесс, и выполнен анализ их влияния на целевую функцию (выход сухого желатина в единицу времени с единицы площади). Получены аппроксимирующие зависимости целевой функции от основных факторов. Согласно результатам исследований применение всестороннего конвективного энергоподвода в процессе пеносушки желатинового бульона при рациональных режимах позволяет в 1,5 раза увеличить удельную производительность процесса в сравнении с сушкой при одностороннем подводе энергии и сократить время сушки с 4,2 до 2,3 часов. При этом вспенивание продукта приводит к более чем двукратному увеличению производительности при сокращении длительности сушки практически в два раза. Установлены рациональные режимы проведения процесса конвективной сушки желатинизированного бульона в производстве сухого желатина: конвективную сушку желатинизированного бульона целесообразно проводить во вспененном состоянии, при всестороннем энергоподводе в форме штранг круглого сечения при следующих режимах: начальный диаметр штранга пены $d_n = 0,004$ м, начальная влажность продукта $w_n = 75$ %, скорость потока сушильного агента v – не менее 4,5 м/с, температура сушильного агента $T = 293–295$ К. Указанные режимы обеспечивают наибольший удельный выход сухого продукта $G = 0,33$ кг/(м²·ч) и рекомендуются для практического использования с целью повышения интенсивности процесса при сохранении качественных показателей сухого желатина.

Ключевые слова: желатиновый бульон, конвективная сушка, пеносушка, энергоподвод, целевая функция.

Для цитирования: Дяченко Н. П., Као Тхи Хуе, Дяченко Э. П., Максименко Ю. А. Исследование интенсивности конвективной пеносушки желатинового бульона из отходов переработки рыб частиковых пород // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 136–144. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-1-136-144.

Введение

Желатин, благодаря своим ценным свойствам, широко востребован во многих отраслях промышленности, в том числе пищевой, фармацевтической, микробиологической и т. д. В последние годы наблюдается рост потребления желатина, что обуславливается не только уникальными свойствами продукта, но и современным развитием науки и техники, в том числе технологий пищевых производств.

Несмотря на популярность продукта и наличие существенной сырьевой базы, на российском рынке желатина преобладает импортная продукция. В данных условиях для создания, развития и обеспечения конкурентоспособности отечественных производств актуально решение

задачи разработки и внедрения оригинальных технологий на основе перспективных источников сырья, в частности на основе белоксодержащих отходов рыбоперерабатывающих производств – ценного источника коллагенсодержащего сырья. При этом для успешного внедрения указанных технологий необходима рационализация/оптимизация процессов производства, в том числе стадии сушки – заключительной энергоемкой стадии производства сухого желатина.

Традиционно сушка желатинового бульона реализуется конвективным способом, при этом длительность процесса может достигать нескольких суток, что наряду с использованием воздуха в качестве сушильного агента существенно увеличивает риски порчи продукта и накладывает ряд технологических ограничений на процесс. Желатинизированный бульон традиционно сушат в форме плиток, пластин, прядей, штранг, гранул, а также в диспергированном состоянии – в результате распылительной или ультразвуковой сушки [1–5].

Принимая во внимание пеноструктурные характеристики анализируемого продукта [6], перспективным направлением совершенствования способа сушки желатинового бульона является сушка во вспененном состоянии. Вспенивание исходного продукта при соблюдении условий стабильности пенослоя существенно интенсифицирует процесс за счет увеличения поверхности тепломассообмена, при этом сокращается площадь контакта пенослоя с рабочей поверхностью сушилки, в результате чего улучшается съём сухого продукта, сокращаются интенсивность засорения сушилок, а также энергозатраты на дробление высушенного пенослоя [7, 8].

Пена, в отличие от жидкости, представляет собой структурированную систему, которой присущи свойства твердых тел, например способность сохранять определенное время свою первоначальную форму [9], при этом основой пены является пленочный каркас, образующийся из совокупности жидких пленок, разделяющих пузырьки газа. К преимуществам вспенивания следует отнести высокое качество получаемого сухого продукта, сравнимое с качеством продукции, получаемой, например, при сублимационной или вакуумной сушке [7]. При этом в процессах сушки наиболее целесообразным представляется использование тонкодисперсных пен с шарообразной формой пузырьков, чего в случае поверхностно-активных веществ можно добиться диспергированием продукта до максимальной кратности пены [9, 10]. Желатинизированная пена исследуемого продукта (с концентрацией сухих веществ 0,15–0,25 кг/кг) обладает хорошей стабильностью и разрушается при превышении температуры желатинизации (плавления студня) [6].

Для определения рациональных режимов сушки и разработки рекомендаций по аппаратному оформлению процесса необходимо изучение кинетики и интенсивности сушки при различных условиях протекания процесса. При этом полученные эмпирические данные позволят выполнить анализ закономерностей внутреннего тепломассопереноса [7, 11, 12] и в дальнейшем рекомендовать пути совершенствования процесса сушки исследуемого продукта.

На основе анализа литературных, информационных источников [5–7, 9, 10, 12, 13] и результатов предварительных экспериментов для проведения исследований и сравнительного анализа интенсивности конвективной сушки желатинового бульона были выбраны следующие варианты реализации процесса:

- в форме пенослоя в желатинизированном состоянии при одностороннем конвективном энергоподводе;
- во вспененном и желатинизированном состояниях в форме штранг круглого сечения при всестороннем конвективном энергоподводе;
- в нативной форме и желатинизированном состоянии в форме штранг круглого сечения при всестороннем конвективном энергоподводе.

Методы исследования, результаты и их обсуждение

Экспериментальные исследования проводились с использованием вероятностно-статистических методов планирования и обработки эмпирических данных по полному многофакторному многоуровневому плану; для уточнения влияния отдельных факторов на интенсивность процесса обезвоживания все второстепенные параметры были зафиксированы, а в качестве целевой функции был выбран съём (выход) сухого желатина с единицы площади рабочей поверхности в единицу времени, G , кг/(м²·ч) [14]:

$$G = M_{cn} / (F \cdot \tau), \quad (1)$$

где M_{cn} – масса высушенного продукта до конечной влажности не более $w_k = 0,1$ кг/кг, выбор которой осуществлен на основе результатов анализа гигроскопических характеристик продукта; F – площадь рабочей поверхности, занимаемой продуктом, m^2 ; τ – экспериментальное время сушки, ч.

В результате поисковых исследований установлено, что к основным факторам, влияющим на интенсивность процесса конвективной пеносушки желатинового бульона, относятся начальная влажность продукта w_n , кг/кг; начальная толщина пенослоя h_n , м, или начальный диаметр штранга пены d_n , м; температура T_b , К, и скорость сушильного агента (воздуха) v , м/с. В таблице представлены основные факторы, влияющие на интенсивность процесса конвективной пеносушки желатинового бульона, а также уровни их варьирования.

Уровни варьирования факторов при конвективной пеносушке желатинового бульона

Уровень	Факторы				
	d_n , м	h_n , м	w_n , кг/кг	v , м/с	T_b , К
1	0,003	0,002	0,75	4,5	293
2	0,004	0,003	0,80	–	–
3	0,005	0,004	0,85	–	–

Как известно, значительное влияние на скорость сушки и величину съема сухого продукта оказывает влажность вспениваемого бульона w_n , которая, исходя из пенообразующих характеристик продукта [1, 3, 8], принималась в пределах $w_n = 0,75–0,85$ кг/кг. Нижний предел ($w_n = 0,75$ кг/кг) определялся технологией получения бульона; получение продукта с влажностью менее 0,75 кг/кг нецелесообразно, поскольку ожидаемая эффективность сушки нивелируется возрастанием затрат энергии и времени на упаривание. Верхний предел ($w_n = 0,85$ кг/кг) обусловлен нестабильностью (интенсивностью разрушения) пенослоя с начальной концентрацией сухих веществ менее 0,15 кг/кг в процессе сушки. Требуемая начальная влажность продукта достигалась упариванием нативного желатинового бульона при температуре 328–333 К и давлении 0,1 МПа.

По результатам проведенных предварительных экспериментальных исследований установлено, что толщину пенослоя высушиваемого продукта следует выдерживать в пределах $h_n = 2–4$ мм, а диаметр штранга пены – в диапазоне $d_n = 3–5$ мм, что определяется технологическими особенностями процесса. В частности, формирование пенослоя толщиной менее 2 мм затруднительно и нецелесообразно, поскольку приводит к существенному снижению значений съема сухого желатина. Штранг пены с $d_n < 3$ мм склонен к механическому разрушению при подаче воздуха в начале процесса сушки, сушка пенослоя толщиной более 4 мм или штранга пены диаметром $d_n > 5$ мм значительно замедляет процесс и, как следствие, снижает его производительность.

Скорость потока воздуха, омывающего экспериментальный образец продукта, была ограничена гидродинамическими особенностями процесса, а также техническими характеристиками экспериментальной установки и составляла $v = 4,5$ м/с. Превышение указанного значения нецелесообразно, поскольку повышается вероятность механического разрушения и уноса недосушенного продукта с рабочей поверхности в процессе сушки. Процесс влагоудаления осуществляли при температуре сушильного агента $T = 290–295$ К, что исключает какую-либо деструкцию высушиваемого образца как термолабильного продукта, в том числе деструкцию линейных макромолекул.

Исследования проводились с использованием лабораторного оборудования ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Для проведения исследований желатиновый бульон готовился по методике [15, 16] из отходов переработки рыб частиковых пород Астраханского региона (кожа, чешуя, кости, плавники, хрящи), полученных при разделке. Для реализации *первого варианта* процесса сушки бульон, предварительно вспененный при температуре 303–305 К до образования пены с максимальной кратностью, наносили в форме слоя толщиной h_n (см. табл.), мм, на рабочую поверхность пластины из полированного алюминия (подложку), затем желатинизировали при температуре 293–295 К. Далее для интенсификации процесса желатинизированный слой, не отделяя от подложки, нарезали на параллельные полоски толщиной 4 мм, затем подложку с продуктом устанавливали в сушильную камеру конвективного контура (рис. 1).

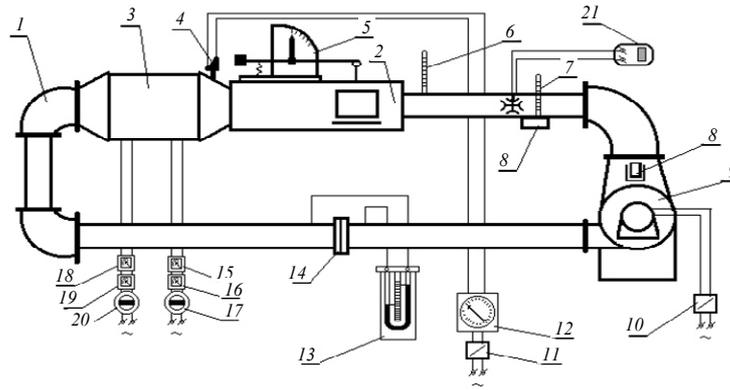


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для изучения процесса конвективной сушки продуктов (конвективный контур):

- 1 – циркуляционный трубопровод; 2 – сушильная камера; 3 – калорифер;
 4 – термометр сопротивления платиновый ТСП-5071; 5 – весы;
 6 – сухой термометр; 7 – мокрый термометр; 8 – заслонки; 9 – вентилятор; 10 – пускатель;
 11 – позиционный переключатель; 12 – электронный автоматический показывающий мост МПР-4;
 13 – дифференциальный манометр; 14 – диафрагма; 15 – амперметр секции № 2;
 16 – вольтметр секции № 2; 17 – ЛАТР секции № 2; 18 – амперметр секции № 1;
 19 – вольтметр секции № 1; 20 – ЛАТР секции № 1;
 21 – анемометр цифровой переносной

Второй вариант реализации процесса: бульон, предварительно вспененный до образования пены с максимальной кратностью, экструдировали в форме штранг круглого сечения (имитация прядей) диаметром d_n (см. табл.), мм, поступавшие из фильер экструдера штранги желатинизировали, затем закрепляли в специальном держателе в сушильной камере конвективного контура параллельно потоку воздуха. *Третий вариант* осуществляли аналогично второму, исключив стадию вспенивания бульона.

Полученные таким образом экспериментальные образцы желатинового бульона сушили до конечной влажности, не превышающей $w_k = 0,1$ кг/кг. Для получения кривых сушки подложку с образцом (держатель с образцом, в случае обезвоживания штранг пены) периодически взвешивали. Регистрация показаний весов в процессе обезвоживания позволила получить зависимости текущей влажности продукта w , кг/кг, от времени τ , с. Примеры кривых конвективной пеносушки желатинового бульона при влажности продукта 75 % изображены на рис. 2.

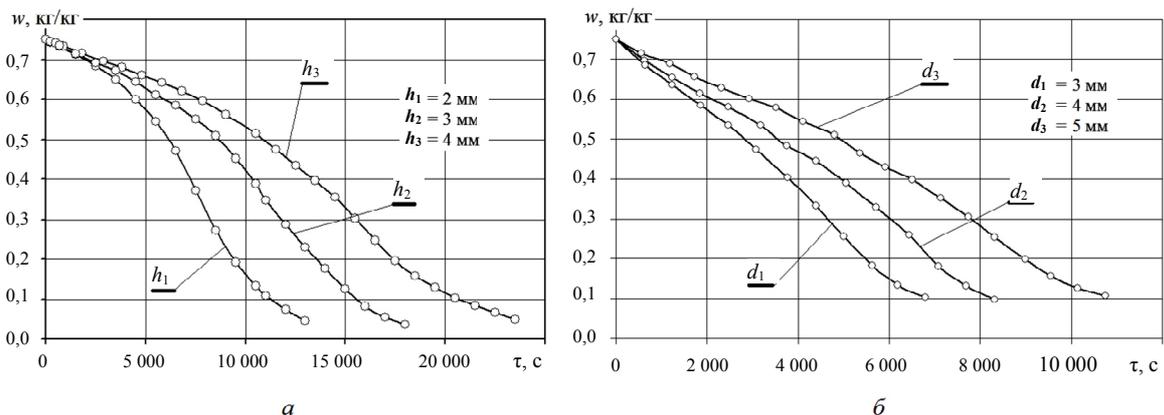


Рис. 2. Кривые конвективной пеносушки желатинового бульона с влажностью 75 %
 в форме слоя при одностороннем энергоподводе (а);
 в форме штранг при всестороннем (объемном) энергоподводе (б)

В результате экспериментальных исследований по формуле (1) получены значения съема сухого продукта с единицы площади рабочей поверхности в единицу времени (G) для выбранных вариантов реализации процесса при различных значениях начальной толщины пенослоя (h_n), начального диаметра штранга пены (d_n) и влажности вспениваемого бульона (w_n). Относительная ошибка при определении G не превышала 10 %. Компьютерная обработка экспериментальных данных позволила получить адекватные аппроксимирующие зависимости целевой функции от варьируемых факторов, при этом погрешность аппроксимации R^2 зависимостей $G = f(w_n, h_n)$ и $G = f(w_n, d_n)$ составила не менее 0,998:

1) сушка пенослоя при одностороннем конвективном энергоподводе:

$$G(w_n, h_n) = \left[\begin{aligned} &(3,4h_n^2 - 21,2h_n + 34,8)w_n^2 + (-5,43h_n^2 + 33,86h_n - 56,22)w_n + \\ &+(2,135h_n^2 - 13,316h_n + 22,575) \end{aligned} \right]; \quad (2)$$

2) сушка при всестороннем конвективном энергоподводе:

– вспененного бульона в форме штранг:

$$G(w_n, d_n) = \left[\begin{aligned} &(0,7d_n^2 - 7,7d_n + 22)w_n^2 + (-0,945d_n^2 + 10,995d_n - 33,82)w_n + \\ &+(0,267d_n^2 - 3,547d_n + 12,615) \end{aligned} \right]; \quad (3)$$

– нативного бульона в форме штранг:

$$G(w_n, d_n) = \left[\begin{aligned} &(0,6d_n^2 - 4,6d_n + 6,8)w_n^2 + (-0,78d_n^2 + 6,02d_n - 9,04)w_n + \\ &+(0,217d_n^2 - 1,718d_n + 2,744) \end{aligned} \right]. \quad (4)$$

На рис. 3 в виде полей значений G представлены результаты расчета целевой функции по уравнениям (2)–(4) соответственно.

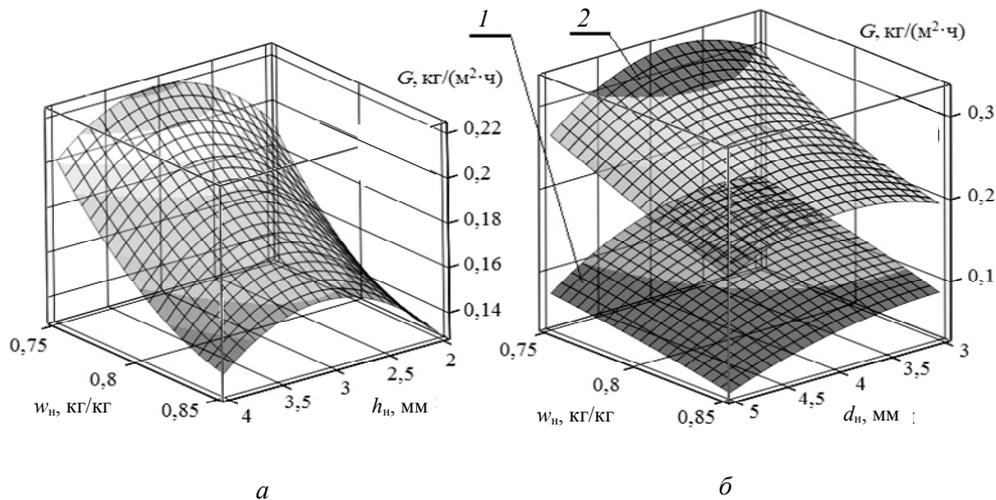


Рис. 3. Поля значений съема сухого желатина с единицы площади в единицу времени, G , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ при различных значениях толщины пенослоя h_n , мм, диаметра штранга пены d_n , мм, и влажности вспениваемого бульона w_n , $\text{кг}/\text{кг}$, при одностороннем (а) и всестороннем (б) конвективном энергоподводе (1 – в нативной форме, 2 – во вспененном состоянии)

Из анализа полей значений съема сухого желатина (рис. 3) следует, что с уменьшением влажности продукта наблюдается ожидаемый рост интенсивности процесса и, соответственно, значений целевой функции. Кроме того, в случае вспененного раствора рост значений целевой функции обуславливается пеноструктурными характеристиками продукта, а именно: с увеличением содержания сухих веществ в бульоне уменьшается средний диаметр пузырьков пены, увеличивается удельная площадь теплообмена и, как следствие, интенсивность процесса. Примечателен выраженный экстремальный характер зависимости G от диаметра штранга пены d_n , а также от толщины пенослоя h_n . В данных случаях характер целевой функции зависит от взаимного влияния двух факторов: повышения интенсивности теплообмена при уменьшении толщины слоя и роста величины съема сухого желатина при повышении удельной массы высушиваемого продукта. Так, например, увеличение d_n до 4 мм приводит к росту G из-за повышения съема сухого продукта, дальнейший рост d_n способствует увеличению сопротивления испаряемой влаги, вследствие чего при $d_n > 4$ мм интенсивность теплообмена заметно снижается и G падает [7, 10]. При этом спад значений целевой функции для пенослоя возникает при толщине $h_n > 3$ мм, т. е. раньше, чем для пены в штрангах ($d_n > 4$ мм), что подтверждает целесообразность всестороннего (объемного) подвода энергии.

Максимумы целевой функции для каждого варианта реализации процесса сушки были определены с помощью опции «maximize» в среде MathCAD. Максимальная удельная производительность процесса (удельный съем сухого продукта) достигалась при начальной влажности продукта $w_n = 0,75$ кг/кг (скорости сушильного агента $v = 4,5$ м/с, температуре сушильного агента $T = 290\text{--}295$ К) и составляла:

- 1) для процесса сушки пенослоя при одностороннем конвективном энергоподводе – $G_{\max} = 0,22$ кг/(м²·ч) при начальной толщине пенослоя продукта $h_n = 3$ мм;
- 2) для процесса сушки при всестороннем конвективном энергоподводе:
 - вспененного бульона в форме штранг – $G_{\max} = 0,33$ кг/(м²·ч) при начальном диаметре штранга пены $d_n = 4$ мм;
 - нативного бульона в форме штранг – $G_{\max} = 0,149$ кг/(м²·ч) при начальном диаметре штранга пены $d_n = 3,5$ мм.

Согласно экспериментальным данным применение всестороннего конвективного энергоподвода в процессе пеносушки желатинового бульона при рациональных режимах позволяет в 1,5 раза увеличить производительность процесса (см. рис. 3) в сравнении с сушкой пенослоя на рабочей поверхности (односторонним подводом энергии) и сократить время сушки с 4,2 до 2,3 ч (см. рис. 2). При этом вспенивание продукта приводит более чем к двукратному увеличению производительности при сокращении длительности сушки практически в два раза.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в производстве сухого желатина конвективную сушку бульона целесообразно реализовывать во вспененном и желатинизированном состоянии при всестороннем (объемном) энергоподводе, в форме штранг круглого сечения, при следующих режимах: начальный диаметр штранга пены $d_n = 0,004$ м, начальная влажность продукта $w_n = 75$ %, скорость потока сушильного агента не менее $v = 4,5$ м/с, температура сушильного агента $T = 293\text{--}295$ К, – при которых обеспечивается наибольший удельный выход сухого продукта $G = 0,33$ кг/(м²·ч).

Указанные рациональные режимы ведения процесса рекомендуются для практического использования при проектировании сушильной техники, в том числе с целью повышения интенсивности процесса при сохранении качественных показателей готового продукта, достигнутых на стадии получения желатинового бульона. В перспективе полученные результаты и результаты дальнейших исследований комплекса физико-химических характеристик продукта, статистики и кинетики процесса позволят разработать рациональную конструкцию сушильного аппарата, а также рекомендации для обеспечения длительного хранения сухого продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рогов И. А.* Технология мяса и мясных продуктов // под ред. М. М. Клименко. К.: Высш. образование, 2006. 640 с.
2. *Рогов И. А., Забашта А. Г., Казюлин Г. П.* Технология мяса и мясных продуктов: учебн.: в 2-х кн. М.: Колос С. 2009. Кн. 2: Технология мясных продуктов. 711 с.
3. *Кецелашвили Д. В.* Технология мяса и мясных продуктов: учеб. пособие. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищ. пром-сти, 2004. Ч. 3. 115 с.
4. *Пат. 2367862* Рос. Федерация, F26B 5/02. Устройство для ультразвуковой сушки / Хмелев В. Н., Шалунов А. В., Барсуков Р. В., Цыганок С. Н., Лебедев А. Н.; заявл. 12.05.2008; опубл. 20.09.2009, Бюл. № 26.
5. *Технология* производства желатина. URL: <http://gelatin.by/partners/technology> (дата обращения: 30.08.2018).
6. *Као Тхи Хуе.* Обоснование и разработка технологии получения структурообразователя из кожи рыб: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2012. 24 с.
7. *Александрян И. Ю., Буйнов А. А.* Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование: моногр. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. 380 с.
8. *Као Тхи Хуе, Нгуен Тхи Минь Ханг, Нгуен Ван Хунг, Курченко В. П., Ризевский С. В., Головач Т. Н., Разумовская Р. Г., Чубарова А. С.* Некоторые аспекты технологии получения желатина из коллагенсодержащих вторичных рыбных ресурсов: обзор // Тр. Байкал. гос. ун-та. 2014. Т. 9. Ч. 1. С. 23–32.
9. *Тихомиров В. К.* Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Высш. шк., 1985. 544 с.
10. *Дяченко Э. П.* Комплексное исследование тепломассообмена при сушке сульфанола во вспененном состоянии: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Махачкала, 2009. 24 с.
11. *Лыков А. В.* Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 471 с.
12. *Лыков А. В.* Тепло- и массообмен в процессах сушки. М.: Гостоптехиздат, 1956. 464 с.
13. *Koen Egberts.* Gelatin Drying Technology (Gelatin Dryer). URL: <http://gelatin.nl/home> (дата обращения: 30.08.2018).
14. *Грачев Ю. П.* Математические методы планирования экспериментов. М.: Пищ. пром-сть, 1973. 200 с.
15. *Као Тхи Хуе, Разумовская Р. Г.* Разработка оптимальных режимов экстракции коллагена из отходов переработки рыб Волго-Каспийского бассейна // Изв. вузов. Пищевая технология. 2011. № 1. С. 33–36.
16. *Пат. 2487152* Рос. Федерация, МПК С09Н 1/04, С09Н 3/00, А23J 1/10. Способ производства желатина / Као Тхи Хуе, Дяченко Э. П.; заявл. 12.07.2011; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 2.

Статья поступила в редакцию 03.10.2018

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дяченко Николай Павлович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры технологических машин и оборудования; dyachenko-nik@mail.ru.

Као Тхи Хуе – Вьетнам, Донгга, Ханой; Тхюйлой университет; канд. техн. наук; преподаватель кафедры биотехнологии; katrine-vietnam@yandex.com.

Дяченко Эдуард Павлович – Россия, 107076, Москва; Научно-консалтинговая корпорация «МетаСинтез»; канд. техн. наук; старший научный сотрудник центра инновационных проектов; Россия, 140153, Московская область, Раменский район, деревня Верея; Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства; научный сотрудник отдела технологий и инноваций; amed-nauka@yandex.ru.

Максименко Юрий Александрович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; г-р техн. наук; доцент; зав. кафедрой технологических машин и оборудования; dyachenko-nik@mail.ru.



INVESTIGATION OF THE INTENSITY OF CONVECTIVE FOAM DRYING OF GELATIN BROTH FROM WASTES OF ORDINARY FISH PROCESSING

N. P. Dyachenko¹, Kao Thi Hue², E. P. Dyachenko^{3,4}, Yu. A. Maksimenko¹

¹Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation

²Thuyloi University,
Hanoi, Socialist Republic of Vietnam

³Scientific and Consulting Corporation "MetaSintez",
Moscow, Russian Federation

⁴Federal Scientific Center for Vegetable Growing,
All-Russian Research Institute of Vegetable Growing,
Vereya, Moscow Region, Russian Federation

Abstract. The intensity of the process of convective foam drying of gelatinized broth prepared from ordinary fish waste in the Astrakhan region was studied experimentally. The product was dried in a foamed state in a layer with a unilateral convective energy supply, as well as in the foamed and natural state in the form of round bars with a uniform convective energy supply. The ranges of variation of the main factors influencing the process were selected and substantiated, and their effect on the objective function (yield of dry gelatin per unit time per unit area) was analyzed. Approximating dependencies of the objective function on the main factors are obtained. According to the results of the research, application of a uniform convective energy supply in the course of drying gelatin broth under rational regimes allows to increase specific productivity of the process by 1.5 times, compared to drying with a unilateral energy supply, and to shorten the drying time from 4.2 to 2.3 hours. In this case, foaming the product results in more than a twofold increase in productivity while reducing the drying time by almost twice. The rational regimes for carrying out the process of convective drying of gelatinized broth in producing dry gelatin are determined: convective drying of the gelatinized broth should be conducted in a foamed state, with a uniform power supply, in the form of bars with circular cross section under the following conditions: initial diameter d_n of a round bar = 0.004 m, initial moisture w_n of product = 75%, flow rate v of the drying agent not less than 4.5 m/s, temperature T of the drying agent = 293-295 K. The indicated regimes provide the highest specific yield of the dry product $G = 0.33$ kg/(m²·h) and are recommended for practical use in order to increase the intensity of the process while maintaining the quality of dry gelatin.

Key words: gelatin broth, convective drying, foam drying, energy supply, objective function.

For citation: Dyachenko N. P., Kao Thi Hue, Dyachenko E. P., Maksimenko Yu. A. Investigation of the intensity of convective foam drying of gelatin broth from wastes of ordinary fish processing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2019;1:136-144. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2019-1-136-144.

REFERENCES

1. Rogov I. A. *Tekhnologiya miasa i miasnykh produktov* [Meat and meat products processing technique]. Pod redaktsiei M. M. Klimenko. Kiev, Vyshee obrazovanie Publ., 2006. 640 p.
2. Rogov I. A., Zabashta A. G., Kaziulin G. P. *Tekhnologiya miasa i miasnykh produktov: uchebnik: v 2-kh kn.* [Processing meat and meat products: textbook: in 2 parts]. Moscow, Kolos S Publ., 2009. Part 2: Tekhnologiya miasnykh produktov. 711 p.
3. Ketselashvili D. V. *Tekhnologiya miasa i miasnykh produktov: uchebnoe posobie. Chast' 3* [Processing meat and meat products: teaching guide. Part 3]. Kemerovo, Kemerovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti, 2004. 115 p.
4. Khmelev V. N., Shalunov A. V., Barsukov R. V., Tsyganok S. N., Lebedev A. N. *Ustroistvo dlia ul'trazvukovoi sushki* [Apparatus for ultrasonic drying]. Patent RF no. 2367862; 20.09.2009.
5. *Tekhnologiya proizvodstva zhelatina* [Gelatin processing technique]. Available at: <http://gelatin.by/partners/technology> (accessed: 30.08.2018).
6. Kao Tkhi Khue. *Obosnovanie i razrabotka tekhnologii polucheniia strukturoobrazovatel'ia iz kozhi ryb: avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation and working out the technique of processing a structure-forming agent from fish skin]. Astrakhan', 2012. 24 p.

7. Aleksanian I. Iu., Buinov A. A. *Vysokointensivnaia sushka pishchevykh produktov. Penosushka. Teoriia. Praktika. Modelirovanie: monografiia* [Intensive drying of food products. Foam drying. Theory. Practice. Modeling: monograph]. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2004. 380 p.
8. Kao Tkhi Khue, Nguen Tkhi Min' Khang, Nguen Van Khung, Kurchenko V. P., Rizevskii S. V., Golovach T. N., Razumovskaia R. G., Chubarova A. S. Nekotorye aspekty tekhnologii polucheniia zhelatina iz kollagensoderzhashchikh vtorichnykh rybnykh resursov: obzor [Certain aspects of processing gelatin from fish resources containing collagen: review]. *Trudy Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, vol. 9, part 1, pp. 23-32.
9. Tikhomirov V. K. *Peny. Teoriia i praktika ikh polucheniia i razrusheniia* [Foams. Theory and practice of their producing and breaking]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 1985. 544 p.
10. Diachenko E. P. *Kompleksnoe issledovanie teplomassoobmena pri sushke sul'fonola vo vspenennom sulfonol: diss.abstr.Cand.Tech.Sci.* [Comprehensive research of heat-mass exchange in drying foamed sulfonol: diss.abstr.Cand.Tech.Sci.]. Makhachkala, 2009. 24 p.
11. Lykov A. V. *Teoriia sushki* [Theory of drying]. Moscow, Energiia Publ., 1968. 471 p.
12. Lykov A. V. *Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki* [Heat and mass exchange in drying processes]. Moscow, Gostoptekhizdat, 1956. 464 p.
13. Koen Egberts. *Gelatin Drying Technology (Gelatin Dryer)*. Available at: <http://gelatin.nl/home> (accessed: 30.08.2018).
14. Grachev Iu. P. *Matematicheskie metody planirovaniia eksperimentov* [Mathematical methods of planning experiments]. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1973. 200 p.
15. Kao Tkhi Khue, Razumovskaia R. G. Razrabotka optimal'nykh rezhimov ekstraktsii kollagena iz otkhodov pererabotki ryb Volgo-Kaspiiskogo basseina [Working out optimal regimes of collagen extraction from wastes of fish processing in the Volga-Caspian basin]. *Izvestiia vuzov. Pishchevaia tekhnologiia*, 2011, no. 1, pp. 33-36.
16. Kao Tkhi Khue, Diachenko E. P. *Sposob proizvodstva zhelatina* [Gelatin production technique]. Patent RF no. 2487152; 10.07.2013.

The article submitted to the editors 03.10.2018

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dyachenko Nikolay Pavlovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Technological Machines and Equipment; dyachenko-nik@mail.ru.

Cao Thi Hue – Vietnam, Dong Da, Hanoi; Thuyloi University; Candidate of Technical Sciences; Lecturer of the Department of Biotechnology; katrine-vietnam@yandex.com.

Dyachenko Eduard Pavlovich – Russia, 107076, Moscow; Scientific and Consulting Corporation “MetaSintez”; Candidate of Technical Sciences; Senior Researcher of the Center of Innovative Projects; Russia, 140153, Moscow Region, Ramensky District, Vereya Village; All-Russian Research Institute of Vegetable Growing - the branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Growing; Researcher of Department of Technology and Innovation; amed-nauka@yandex.ru.

Maksimenko Yury Aleksandrovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences; Assistant Professor; Head of the Department of Technological Machines and Equipment; amxs1@yandex.ru.

