

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС СУШКИ ГИДРОБИОНТОВ

Ю.В. Карнаушенко

Промышленная переработка гидробионтов с высокой биологической ценностью белка в Крыму весьма затруднена и окончательно на сегодня не реализована. Разработка технологии получения высокобелковой сушеной продукции из гидробионтов является актуальной и необходимой. При проведении экспериментов применены методики исследования кинетики сушки мяса мидии. Представленные материалы показывают, что технологически целесообразно применять для гидробионтов процесс сушки в псевдооживленном слое с применением осциллирования.

Ключевые слова: переработка, сушка мяса мидии, псевдооживленный слой, осциллирование.

Особого внимания заслуживает технология производства сушеной продукции из гидробионтов. Однако процесс сушки гидробионтов, мало изучен. Нарботки ученых по данной теме не являются системными. Имеются сведения о попытках применить процесс сушки для производства сушеного криля, кальмара, рыбной крупки и муки из мидии, которые дали положительные результаты.

Несмотря на разнообразие технологий производства консервов и кулинарных изделий из гидробионтов, промышленные технологии по сушке кальмара, рыбного фарша, мяса криля и мяса мидии недостаточно изучены, что и должно стать перспективой в дальнейшем научном поиске.

Наш практический и экспериментальный опыт позволяет утверждать, что одним из перспективных направлений развития рыбоперерабатывающих предприятий является внедрение прогрессивных технологий, позволяющих получать сушеные продукты из гидробионтов, которые являются значительным источником белкового питания населения страны, с сохранением показателей качества.

Известно, что мясо мидии представляет собой термолабильную систему, нагрев которой выше заданного предела температуры приводит к ухудшению показателей качества. В связи с этим определение рациональных тепловых режимов связано с управлением температурой сушильного агента. Одним из таких способов, реализуемых в технологии сушки, является задание закона изменения t_c в виде периодической гармоникой. Интенсифицировать процесс сушки, не увеличивая энергетических затрат и сохраняя минимально возможное время пребывания материала в су-

шильном аппарате, возможно путем применения режима периодического продувания. Сущность такого режима заключается в том, что сушильный агент обдувает мясо мидии непрерывно, а периодически, с применением осциллирования (время периода нагрева и охлаждения). Продувание сушильным агентом чередуется с отлежками высушиваемого продукта. В результате следующий за продувкой период отлежки выравнивает профиль влажности. Такой режим позволяет интенсивно удалять влагу короткими продувками, балансируя внутренний массообмен с внешним массообменом соответствующей продолжительностью отлежек.

Одним из методов интенсификации конвективной сушки гидробионтов является сушка в псевдооживленном слое с применением осциллирования.

Для исследования кинетики сушки мяса мидии в псевдооживленном слое нами были отобраны следующие доминирующие факторы, определяющие скорость сушки (в порядке возрастания величины эффектов):

- температура теплоносителя – t , °С;
- скорость сушильного агента – v , м/с;
- удельная нагрузка материала, отражающая высоту слоя – M/F , кг/м²;
- частота осциллирования – ω , мин;
- определяющий размер частиц материала – $d_{э\text{кв}}$, м.

Были выбраны следующие параметры процесса: предварительная обработка мяса мидии (процессы бланширования и подсушки), температура, потенциал сушки и скорость сушильного агента, удельная нагрузка на газораспределительную решетку (высота слоя), частота осциллирования.

Нами проведено исследование процесса

сушки мяса мидии в псевдооживленном слое с применением осциллирующих режимов по симметричной и несимметричной схемам с целью сопоставления. Это позволит обеспечить необходимое снижение влажности при сохранении качества и высоких технико-экономических показателей сушильного процесса мяса мидии, что невозможно достичь при других способах сушки. Контроль над процессом вели по органолептическим показателям мяса.

Исследования по влиянию температуры сушильного агента на продолжительность сушки мяса мидии проводили при температуре сушильного агента в пределах от 60 °С до 90 °С через каждые 10 градусов, потенциал сушки изменялся соответственно от 20 до 35 °С и удельной нагрузке 14 кг/м² показывает, что при высокотемпературной сушке происходит значительная интенсификация удаления остаточной влаги.

Как видно из кривых сушки, процесс хронологически состоит из двух последовательных периодов: первого (периода поверхностного испарения) и второго (периода внутреннего испарения). Это объясняется тем, что в стадии промежуточного охлаждения направление теплового потока в материале совпадает с направлением движения влаги, то есть температурный градиент по сечению мяса мидии приобретает направление, обратное направлению в стадии нагрева, и явление термовлагопроводности способствует сушке. В результате происходит выравнивание влажности по сечению материала и, что особенно важно, материал поступает в следующую фазу нагрева не только с несколько сниженной средней температурой, но и пониженной температурой поверхностного слоя мяса мидии.

Увеличение температуры сушильного агента с 60 до 90 °С интенсифицирует процесс сушки в 3,2 раза. Поэтому допускается использование высокотемпературной сушки при $t_{с,а}=80...90$ °С с применением осциллирования, это позволяет получать сушеный продукт с нужной влажностью в пределах 18...24% и с хорошей восстанавливаемостью. Таким образом, температурные режимы осциллирования технологически целесообразны при применении сушильного агента с высокой температурой при сушке мяса мидии.

Установлено, что затраты теплоты на сушку при равных конечных температурах нагрева материала уменьшаются с увеличением температуры поступающего воздуха. Причина этого заключается в том, что боль-

шая разница температур способствует лучшей передаче теплоты, необходимого для испарения влаги, при меньшем количестве теплоносителя. Это определяет меньшие потери теплоты с уходящим воздухом. Количество затраченной теплоты на сушку при одинаковой температуре поступающего воздуха и различных конечных температурах нагрева материала уменьшается с уменьшением нагрева материала по той же причине, а также по причине уменьшения потерь теплоты в окружающую среду.

Исследования по влиянию удельной нагрузки материала (высоты слоя) на продолжительность сушки мяса мидии проводили на экспериментальной установке в псевдооживленном слое с применением осциллирования. Анализируя кривые сушки, мы установили, что от удельной нагрузки зависит скорость сушки не только в периоде постоянной, но и падающей скорости сушки, а это значит, что можно попытаться определить продолжительность всего периода сушки с помощью уравнения зависимости общей продолжительности сушки t от удельной нагрузки мяса мидии M/F .

Влияние удельной нагрузки мяса мидии исследовалось при постоянной температуре сушильного агента 80 °С и 90 °С, постоянной скорости сушильного агента 3,4 м/с и равных условиях предварительной обработки мяса мидии.

Эксперименты проводили в интервале удельных нагрузок от 10 кг/м² до 16 кг/м². Было определено, что удельная нагрузка менее 10 кг/м² для конкретной установки не рациональна, так как основная часть сушильного агента расходовалась впустую. Установлено, что удельная нагрузка 16 кг/м² и более для конкретной установки затрудняет образование псевдооживленного слоя. Например, при удельной нагрузке 16 кг/м² псевдооживленный слой начинал образовываться спустя лишь 20 минут.

Интенсивнее всего процесс протекает при температуре 90 °С, достигнув 18 % влажности через 190 мин сушки. При $t_{с,а}=80$ °С продолжительность сушки составляет 430 минут до влажности 18 %. Температура материала достигала 50...55 °С.

При удельной нагрузке 14 кг/м² при температуре сушильного агента 90 °С конечного влагосодержания достигаем на 130 минуте, при этом влажность в мясе мидии – 18 %.

Увеличение удельной нагрузки ведет к снижению интенсивности нагрева частиц в слое, что позволяет с увеличением удельной нагрузки повышать температуру сушильного

агента на входе в камеру. При среднем влагосодержании $W^c = 28 \%$ температура нагрева поверхности мяса мидии при удельной нагрузке продукта 14 кг/м^2 составляет $60 \text{ }^\circ\text{C}$, а при удельной нагрузке $12 \text{ кг/м}^2 - 54 \text{ }^\circ\text{C}$. Мясо мидии при интенсивном перемешивании получает запас тепла в прирешеточной зоне и при дальнейшем движении продолжают терять влагу за счет аккумулированного тепла.

В периоде постоянной скорости сушки с увеличением удельной нагрузки материала наблюдается значительное уменьшение скорости сушки, что объясняется уменьшением среднеинтегральных значений потенциала сушки сушильного агента вследствие снижения температуры и увеличения его влагосодержания.

В периоде падающей скорости сушки с углублением поверхности испарения величина удельной нагрузки влияет на скорость сушки в значительно меньшей степени. Это объясняется тем, что во втором периоде решающее влияние на скорость сушки оказывают свойства мяса мидии, характеризующиеся коэффициентом сопротивления диффузии и движущей силой диффузии, т.е. разностью парциальных давлений и коэффициентом массообмена β .

Для определения характера зависимости общего времени сушки от удельной нагрузки материала при температуре $80 \text{ }^\circ\text{C}$ и $90 \text{ }^\circ\text{C}$, мы получили зависимости:

для $t_{c.a.}=90 \text{ }^\circ\text{C}$ $\tau = 6,1034 \text{ M/F} + 43,16$ при $R^2 = 0,978$,

для $t_{c.a.}=80 \text{ }^\circ\text{C}$ $\tau = 12,237 \text{ M/F} + 149,94$ при $R^2 = 0,999$.

Увеличение удельной нагрузки при сушке мяса мидии в аппарате с псевдооживленным слоем повышают к.п.д. сушильной установки за счет более полного использования сушильного потенциала теплоносителя. Однако необходимо учитывать, что с увеличением удельной нагрузки материала соответственно возрастает энергоемкость калорифера. В связи с этим, выбор рациональной удельной нагрузки при сушке мяса мидии следует производить, исходя из соображений минимальных удельных энергозатрат на сушку.

При сушке мяса мидии в псевдооживленном слое увеличение скорости движения воздуха интенсифицирует удаление влаги в период постоянной скорости, когда удаляется свободная влага. Период постоянной скорости составляет небольшой промежуток общей продолжительности сушки. Основное время занимает период падающей скорости, при котором удаляется связанная влага. Скорость снижения влажности в этот период не зависит

от скорости движения воздуха, так как увеличение скорости движения воздуха не изменяет характера непрерывного движения и перемешивания частиц. С увеличением скорости движения воздуха лишь увеличивается высота слоя движущихся частиц, а это не сказывается на перемещении влаги внутри материала. Нами установлено, что удаление связанной влаги в периоде падающей скорости сушки не зависит от скорости сушильного агента. От удельной нагрузки зависит скорость сушки только в периоде постоянной скорости, а в периоде падающей скорости сушки – незначительно.

Экспериментально определена критическая (подъемная) скорость движения сушильного агента, обеспечивающая перевод слоя мяса мидии из неподвижного состояния в псевдооживленное. Увеличение скорости движения воздуха заметно сокращает продолжительность процесса сушки вследствие более активного гидродинамического режима в сушильной камере установки. Процесс следует вести при минимальной скорости, обеспечивающей качественное оживление. Это не только уменьшает унос материала и высоту рабочей камеры сушилки, но и снижает энергозатраты на процесс сушки. Поэтому при сушке мяса мидии целесообразно применять минимальную скорость движения воздуха, обеспечивающую развитую стадию кипящего слоя, при которой происходит устойчивое движение и перемешивание частиц в обоих периодах сушки. По данным исследований величина её составляет $2,6...3,4 \text{ м/с}$ на свободное сечение камеры.

Нами проведены экспериментальные исследования по охлаждению мяса мидии (после сушки при разных температурах сушильного агента) в псевдооживленном слое с применением осциллирования при температуре воздуха, равной температуре окружающей среды. На основании экспериментальных данных по влиянию продолжительности охлаждения мяса мидии после сушки, установлено, что вне зависимости от температуры слоя мяса мидии время охлаждения составляет $15...20$ минут. Поэтому время «отлежки» мяса мидии принимаем 20 минут, так как меньшее время не способствует распределению влаги, а более 20 минут приводит к увеличению продолжительности процесса сушки.

Качество материала определяется температурой и продолжительностью сушки, зависит от степени равномерности распределения температуры. Сушка в псевдооживленном слое с применением осциллирования обеспе-

чивает равномерный нагрев материала в результате непрерывного движения и перемешивания частиц, при этом методе сушки нет опасности местных перегревов по сравнению с сушкой в неподвижном слое.

Режим сушки для каждого материала определяется исходя из температуры, допустимой для нагрева данного материала. Температура материала в процессе сушки непрерывно повышается и определяется параметрами сушильного агента, способом сушки и теплофизическими свойствами материала.

Температура в центре и на поверхности слоя мяса мидии различна. Замер температуры в центре и на поверхности проводили при постоянной удельной нагрузке материала 14 кг/м², скорости движения воздуха 3,4 м/с и температурах воздуха на входе в сушильную камеру постоянных в каждом эксперименте: 60; 70; 80; 90 °С.

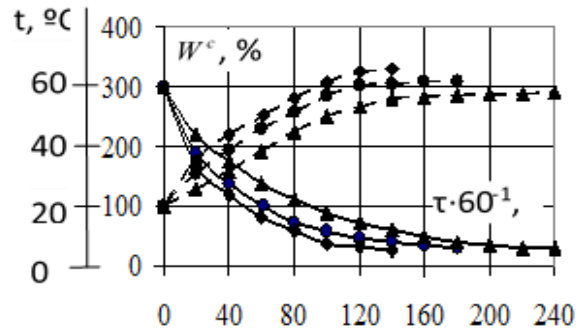
Установлено, что с повышением температуры сушильного агента возрастает разность между температурами центральных и поверхностных слоев мяса мидии в процессе сушки.

Процесс сушки мяса мидии проводили при следующих условиях: непрерывный прогрев материала сушильным агентом при $t_{с.а}= 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, сушка мяса мидии по симметричной ($T_{нагр}=20\text{ мин}$, $T_{охл}=20\text{ мин}$) и несимметричной ($T_{нагр}=20\text{ мин}$, $T_{охл}=15\text{ мин}$) схеме, при этом удельная нагрузка составляла 14 кг/м², температура сушильного агента – 90 °С, при этом фиксировали допустимую температуру нагрева мяса мидии. На рисунке 1 представлены кривые сушки и кинетика температуры в центре мяса мидии (а) и кривые скорости сушки (б).

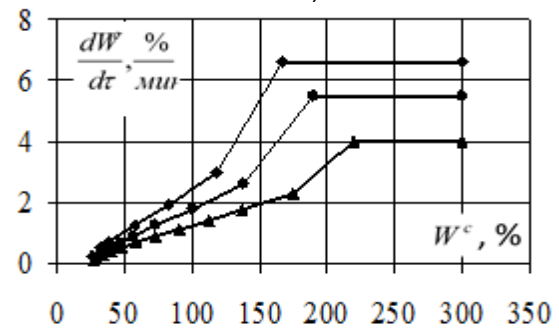
При сушке мяса мидии в режиме осциллирования по симметричной схеме с $t_{с.а}= 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ продолжительность процесса составляет 120 минут до конечного влагосодержания 28 %. При сушке мяса мидии по несимметричной схеме через 120 минут достигаем влагосодержания 52 %. При сушке с непрерывной подачей сушильного агента достигли через 120 минут 75 % влагосодержания.

Очевидно, что удлинение периода охлаждения приводит к возрастанию времени сушки, а удлинение периода нагревания – к замедлению процесса перераспределения влаги в образце. Поэтому дальнейшие исследования по сушке мяса мидии проводили по симметричной схеме осциллирования при продолжительности полупериодов 20 минут ($T_{нагр}=20\text{ мин}$, $T_{охл}=20\text{ мин}$) при $t_{с.а}= 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ и удельной нагрузке материала 14 кг/м². Темпе-

ратура воздуха при отлежке продукта в пределах 15...20 °С. Сушка осуществляется за пять циклов.



а)



б)

- ◆ - симметричный режим осциллирования;
- - несимметричный режим осциллирования;
- ▲ - непрерывный прогрев

Рисунок 1 - Кривые сушки и кинетика температуры в центре мяса мидии (а) и кривые скорости сушки (б)

По данным наблюдений можно судить о том, что значительная потеря влаги при сушке мяса мидии происходит во время нагрева. В период «отлежки» происходит перераспределение влаги по объёму высушиваемой мидии. В этом случае не происходит образование корочки на поверхности, препятствующей удалению влаги.

Установлено, что сушка мяса мидии в осциллирующем режиме по симметричной схеме ($T_{нагр}=20\text{ мин}$, $T_{охл}=20\text{ мин}$) в диапазоне влажности продукта от 77 до 20 % сокращается в два раза.

Таким образом, данный режим сушки позволяет получать сушеное мясо мидии влажностью 18...24 %, что соответствует требованиям для сушеных рыбных продуктов и температурные режимы осциллирования технологически целесообразны.

Получены и обоснованы закономерности влияния режимов сушки на мясо мидии для

получения продукта с заданной влажностью, которые заключаются в следующем:

- применение осциллирующего режима способствует уменьшению перегрева и пересыханию поверхности мяса мидии в процессе сушки;

- возможность увеличения температуры теплоносителя не превышая предел термостабильности мяса мидии;

- в стадии промежуточного охлаждения в процессе сушки направление теплового потока в материале совпадает с направлением движения влаги, и явление термовлагопроводности способствует удалению влаги.

Совершенствование процесса сушки гидробионтов в псевдооживленном слое позволяет обрабатывать сырье непосредственно в местах добычи, повышать ее качество, дает возможность увеличить выход сушеного продукта и расширяет его ассортимент.

Перспективы дальнейших исследований мы видим в совершенствовании существующего оборудования и разработке конструкции энергосберегающей установки для сушки гидробионтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карнаушенко Ю.В. Вопросы интенсификации процесса сушки гидробионтов Азово-Черноморского бассейна [Текст] / Ю.В. Карнаушенко, А.И. Звегинцев, О.Д. Сушков // Рыбное хозяйство Украины. – 2007. – № 7. – С. 92-94.

2. Карнаушенко Ю.В. Пути развития основных способов сушки и методы их интенсификации [Текст] // Рыбное хозяйство Украины. – 2010. – № 1. – С. 26-28.

3 Арапов В. М. Критерии допустимых температурных режимов конвективной сушки пищевых продуктов / В.М. Арапов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – №11. – С. 23 – 27.

4. Абрамова Л.С. Комплексное использование нерыбных объектов промысла / Л.С. Абрамова // Международная научно-практическая конференция «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки» Москва: ФГУП «ВНИРО». – 2002. – С. 29-33.

5. Дейниченко Г. В. Сушіння гідробіонтів у псевдозріженому шарі / Г. В. Дейниченко, Ю. В. Карнаушенко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць. – Х.: ХДУХТ, 2013. – Вип. 2 (18). – С. 64–69.

Карнаушенко Ю. В. - к. т. н., доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», e-mail: yuliyakgmtu@mail.ru. +7(978)7156676