

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ НЕРАЗДЕЛАННОЙ ПРОМЫСЛОВОЙ ФОРЕЛИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Е. Н. Неверов

В статье представлены результаты исследований по охлаждению форели в аппарате работающем на диоксиде углерода в результате которых, получены изменения температурного поля, кинетика теплоотвода и расход CO_2 при охлаждении тушек форели газообразным диоксидом углерода с температурами в аппарате -30°C , -50°C и -70°C и снегообразным CO_2 . Произведено сравнение работы аппарата на газообразном и снегообразном CO_2 .

Ключевые слова: Рыба, форель, диоксид углерода, сублимация, температурное поле, плотность теплового потока, теплопроводность, температура, изотермы, теплота, аппарат, расход.

Рыба и рыбная продукция относится к категории скоропортящихся продуктов. Для сохранения и доставки улова к рыбоперерабатывающим предприятиям, а также рыбопродукции конечному потребителю без существенной потери качества, на всех этапах необходимо применение холода. При этом традиционные методы холодильной обработки рыбы не позволяют без ухудшения ее качества обеспечить длительное время хранения в охлажденном виде.

Для решения сложившейся проблемы ряд ученых как в России, так и за рубежом разрабатывают различные методы и технологии для холодильной обработки рыбы.

На наш взгляд наиболее перспективным решением данной проблемы является применение диоксида углерода для охлаждения рыбы контактным способом, что способствует увеличению сроков ее хранения без существенного ухудшения качества [2].

В нашей стране этот метод пока не находит широкого применения для холодильной обработки рыбы. Причиной, сдерживающей его использование в широком масштабе, является значительный расход CO_2 при холодильной обработке продуктов и высокая стоимость хладагента [4].

Нами разработана модель аппарата для холодильной обработки рыбы в среде диоксида углерода, позволяющая добиться повышения производительности и более эффективного применения диоксида углерода, путем увеличения интенсивности теплообмена и подачи газообразного диоксида углерода с постоянно низкой температурой (рис. 1) [1].

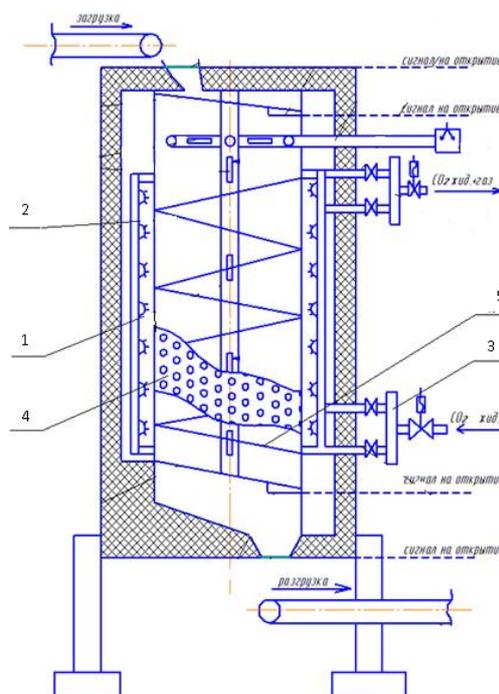


Рисунок 1 – Схема аппарата для холодильной обработки рыбы в среде диоксида углерода: 1 – форсунки; 2 – коллектор; 3 – трубопровод для подачи жидкого CO_2 ; 4 – цилиндрическая перфорированная решетка; 5 – охлаждающие трубы

Для этого, по всей высоте аппарата устанавливаются форсунки 1 встроенные в коллектора 2, отстоящие друг от друга на 90° , которые соединены между собой трубопроводами для подачи жидкого криоагента 3, который после прохождения форсунок непосредственно попадает на продукт, такая система называется «контактной».

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ НЕРАЗДЕЛАННОЙ ПРОМЫСЛОВОЙ ФОРЕЛИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Для устранения соприкосновения продукта с форсунками в корпусе аппарата предусмотрена цилиндрическая перфорированная решетка 4, которая образует полый цилиндр, внутри которого перемещается продукт, смешанный совместно с мелкими дисперсионными частицами диоксида углерода, вылетающими из сопел форсунок 1. Перемещение продукта подвергаемого холодильной обработке производится непосредственно по горизонтальным охлаждающим трубам образующим винтовую поверхность 5, при помощи прилегающих к охлаждающим трубам роликов 6, что позволяет также повысить интенсивность теплообмена, такая система получила название «бесконтактной».

Для снижения расхода криоагента в схеме предусмотрены две автономные системы охлаждения аппарата, которые позволяют производить рециркуляцию диоксида углерода. Одна работает в непосредственном контакте продукта с диоксидом углерода, а вторая, в замкнутом контуре, что расширяет технологические возможности аппарата, и обладает более высокой производительностью за счет использования комбинированного охлаждения при замораживании. Аппарат позволяет производить холодильную обработку рыбы диоксидом углерода находящимся как в газообразной фазе, так и в снегообразной.

При проведении мониторинга в торговой сети Сибирского региона выявлено, что в последние годы наблюдается тенденция, к увеличению потребления охлажденной форели. Это связано с тем, что население в последние годы стало все больше и больше обращать внимание на здоровое питание, а форель как нельзя лучше вписывается в эту тенденцию. Состав данной рыбы многообразен. В него входят полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, полный спектр незаменимых и заменимых аминокислот, витамины всех групп, йод, железо, фосфор, селен. Причем они настолько сбалансированы, что невозможно найти такую же гармонию полезных веществ, характерную какому-либо другому продукту. По стоимости рыба относится к дорогим сортам, что приводит к повышенным требованиям к срокам ее хранения [2].

С целью реализации предложенного аппарата в промышленности, на нем была проведена производственная проверка его работы в нескольких режимах: охлаждение форели в среде газообразного и снегообразного диоксида углерода.

Основными задачами экспериментов являлось установление характера изменения

температурного поля, определение времени охлаждения форели, плотности теплового потока и расхода диоксида углерода при различных температурах в аппарате и фазовых состояниях подаваемого в аппарат CO_2 .

Первая серия исследований проводилась с форелью массой $1,82 \pm 0,05$ кг.

Схема расположения термодатчиков и термограмма процесса охлаждения тушки форели массой $1,82 \pm 0,05$ кг, при температуре -50°C показана на рисунке 2.

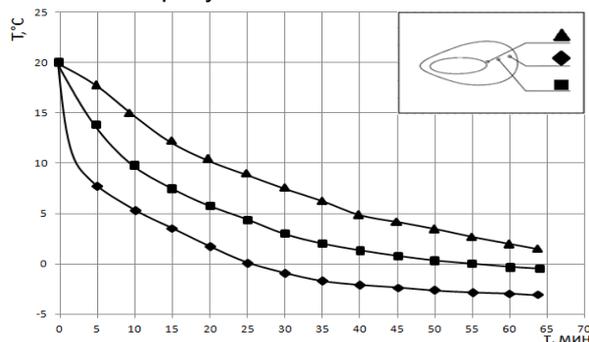


Рисунок 2 – Термограмма процесса охлаждения форели газообразным диоксидом углерода, при температуре в аппарате $-50 \pm 2^\circ\text{C}$

Время охлаждения рыбы составило 64 минуты, при расходе диоксида углерода 3,54 кг.

Анализ характера изменения температурного поля показывает, что процесс охлаждения наружного слоя тушки форели происходит довольно интенсивно в связи с тем, что поверхность рыбы находится в непосредственном контакте с газообразным CO_2 до 30 минут, после чего интенсивность снижения температуры падает, в связи с тем, что начинается процесс фазового перехода, при котором начинают образовываться кристаллы льда и происходит скрытое тепловыделение.

Охлаждение центральной части тушки происходит за счет теплопроводности через наружные слои, т.к. из рыбы не удалены внутренние органы. Процесс аналогичен охлаждению поверхностных слоев, но продолжительность увеличивается на последнем этапе охлаждения до 28 минут.

В связи с отсутствием контакта с диоксидом углерода, охлаждение внутреннего слоя тушки рыбы происходит менее интенсивно, это объясняется теорией о распространении температурного поля от поверхности продукта к его центру [5].

На рисунке 3 показана диаграмма изменения плотности теплового потока, от наружной поверхности тушки форели при охлаж-

дении газообразным CO₂ и температуре окружающей среды -50±2°C.

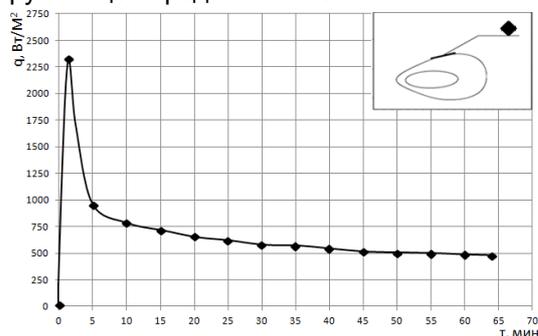


Рисунок 3 – Изменение плотности теплового потока на наружной поверхности тушки форели, при охлаждении газообразным диоксидом углерода, температура в аппарате -50±2°C

В первоначальный момент времени наблюдается увеличение плотности теплового потока до максимального значения с дальнейшим его падением. Это связано с тем, что в первоначальный момент времени разница температур между тушкой и диоксидом углерода максимальна. Затем происходит процесс равномерного снижения температуры в тушке и теплового потока до 45 минуты. И в заключении процесс стабилизации температуры, связанный с кристаллообразованием в слоях рыбы.

Анализ экспериментальных данных показывает, что среднеинтегральное значение плотности теплового потока от наружной поверхности верхней части тушки составляет $q_{cp} = 490 \text{ Вт/м}^2$, максимальное значение плотности теплового потока от верхней части тушки $q_{max} = 2300 \text{ Вт/м}^2$.

В первоначальный момент времени наблюдается увеличение плотности теплового потока до максимального значения с дальнейшим его падением. Это связано с тем, что в первоначальный момент времени разница температур между тушкой и диоксидом углерода максимальна. Затем происходит процесс равномерного снижения температуры в тушке и теплового потока до 45 минуты. И в заключение - процесс стабилизации температуры, связанный с кристаллообразованием в слоях рыбы. Среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи составило $\alpha_{cp} = 4,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, а максимальное его значение $\alpha_{max} = 24 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Аналогично были проведены эксперименты с форелью массой от 0,6 до 3 кг с температурой в аппарате -30, -50 и -70 °C результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Рекомендованные параметры при охлаждении неразделанной форели газообразным диоксидом углерода

Температура в камере, (°C)	Масса рыбы, (кг)	Масса газообразного CO ₂ , (кг)	Время холодильной работы, (мин)	Достигаемая среднеобъемная тем-ра в тушке, (°C)
- 30	0,61	0,99	69,2	1,0
	0,81	1,30	73,0	1,0
	1,06	1,73	77,0	1,0
	1,39	2,26	79,8	1,0
	1,56	2,54	83,6	1,0
	1,82	2,96	94,0	1,0
	2,09	3,40	98,5	1,0
	2,46	4,01	103,2	1,0
	2,68	4,36	110,1	1,0
- 50	0,61	1,18	44,0	1,0
	0,81	1,56	48,3	1,0
	1,06	2,07	52,7	1,0
	1,39	2,70	54,6	1,0
	1,56	3,04	58,6	1,0
	1,82	3,54	64,0	1,0
	2,09	4,06	68,8	1,0
	2,46	4,79	73,3	1,0
	2,68	5,21	80,0	1,0
- 70	0,61	1,48	29,1	1,0
	0,81	2,00	3,0	1,0
	1,06	2,56	37,4	1,0
	1,39	3,46	39,6	1,0
	1,56	4,17	43,6	1,0
	1,82	5,01	49,5	1,0
	2,09	5,95	53,1	1,0
	2,46	6,95	57,7	1,0
	2,68	7,88	65,0	1,0
2,96	9,00	73,3	1,0	

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать однозначное заключение, что при снижении температуры в аппарате происходит уменьшение времени охлаждения рыбы, но при этом увеличивается расход диоксида углерода.

Следующая серия экспериментов была проведена по охлаждению неразделанной форели в аппарате снегообразным диоксидом углерода.

Схема расположения термодпар и термограмма процесса охлаждения тушки форели снегообразным CO₂ массой 1,862±0,05 кг представлена рисунке 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ НЕРАЗДЕЛАННОЙ ПРОМЫСЛОВОЙ ФОРЕЛИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

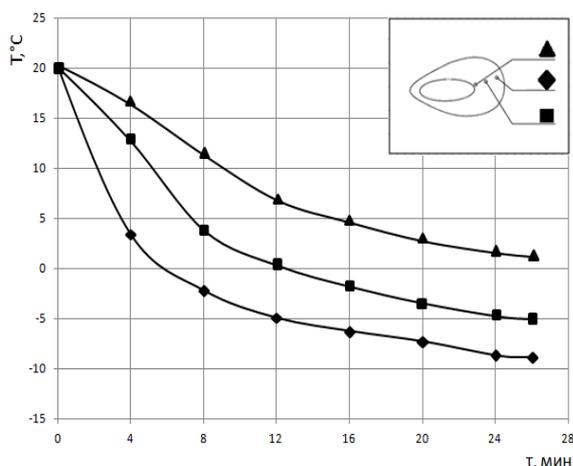


Рисунок 4 – Термограмма процесса охлаждения форели снегообразным диоксидом углерода

Время охлаждения рыбы в данном случае сократилось до 26 минут, при расходе снегообразного диоксида углерода 0,331 кг, соответственно произошло снижение расхода диоксида углерода и времени холодильной обработки рыбы в отличие от охлаждения форели газообразным диоксидом углерода.

Анализ полученной термограммы показывает, что процесс охлаждения наружного слоя тушки рыбы происходит более интенсивно, чем в предыдущем случае. В связи с тем, что поверхность рыбы находится в непосредственном контакте с снегообразным CO_2 , который обладает более высокой теплоемкостью. При этом происходит поверхностного слоя после 6 минуты, затем снижение интенсивности падения температуры в связи с началом процесса фазового перехода.

Охлаждение центральной части тушки происходит также за счет теплопроводности через наружные слои. Процесс аналогичен охлаждению поверхностных слоев, но разница во времени составила в данном случае всего 8 минут.

Охлаждение внутреннего слоя тушки рыбы происходит менее интенсивно, в связи с отсутствием контакта с снегообразным диоксидом углерода, но более интенсивно, чем при охлаждении газообразным CO_2 и соответствует теории о распространении температурного поля от поверхности к его центру.

На рисунке 5 показана диаграмма изменения плотности теплового потока, от наружной поверхности тушки форели при охлаждении снегообразным CO_2 .

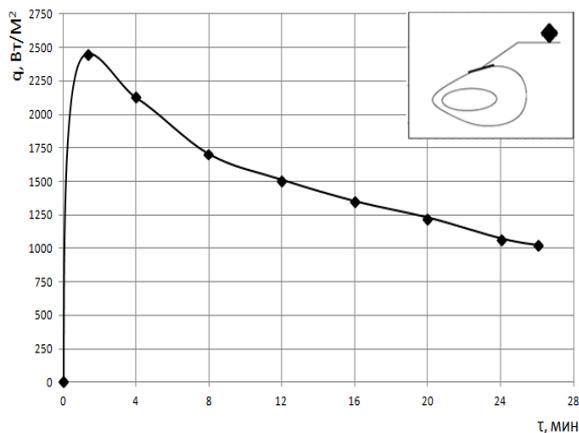


Рисунок 5 – Изменение плотности теплового потока на наружной поверхности тушки форели, при охлаждении снегообразным диоксидом углерода

Анализ экспериментальных данных показывает, что среднеинтегральное значение плотности теплового потока от наружной поверхности тушки составляет $q_{cp} = 690 \text{ Вт/м}^2$, максимальное значение плотности теплового потока от верхней части тушки $q_{max} = 2480 \text{ Вт/м}^2$, полученные значения плотности теплового потока выше, чем при обработке газообразным CO_2 форели, соответственно интенсивность теплообмена при таком методе холодильной обработки выше и соответствует полученным изотермам.

В начале процесса холодильной обработки наблюдается увеличение плотности теплового потока до максимального значения с дальнейшим его интенсивным падением до 8 минуты. Это связано с тем, что в первоначальный момент времени температурный напор между тушкой рыбы и снегообразным диоксидом углерода будет выше, чем при обработке газообразным CO_2 и достигает максимального значения. После чего происходит процесс равномерного снижения температуры в тушке и теплового потока, который гораздо выше и интенсивнее до самого окончания процесса охлаждения.

Среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи составило $\alpha_{cp} = 6,1 \text{ Вт/((м}^2 \cdot \text{К))}$, а максимальное его значение $\alpha_{max} = 26 \text{ Вт/((м}^2 \cdot \text{К))}$.

Аналогично были проведены эксперименты с форелью массой от 0,6 до 3 кг, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Рекомендованные параметры при охлаждении неразделанной форели снегообразным диоксидом углерода

Наименование рыбы	Масса рыбы, (кг)	Масса снегообразного CO ₂ , (кг)	Время холодильной обработки, (мин)	Достигаемая среднеобъемная тем-ра в тушке, (°C)
Форель	0,608	0,111	17,88	1,0
	0,802	0,146	19,50	1,0
	1,064	0,193	21,13	1,0
	1,39	0,253	22,21	1,0
	1,565	0,284	23,83	1,0
	1,82	0,331	26,00	1,0
	2,09	0,380	27,63	1,0
	2,464	0,448	29,79	1,0
	2,682	0,487	32,50	1,0
	2,958	0,538	35,75	1,0

В таблице 2 представлены результаты холодильной обработки неразделанной форели различной массы снегообразным диоксидом углерода.

При охлаждении рыбы снегообразным диоксидом углерода сокращается его расход, в отличие от способа охлаждения газообразным CO₂ из-за более высокой теплоемкости снегообразного диоксида углерода, но при таком способе охлаждения, получая диоксид углерода в снегообразной фазе методом дросселирования жидкой углекислоты, часть диоксида углерода переходит в парообразное состояние и снижает тем самым выход CO₂ в твердой фазе. При этом он не удаляется из разработанного нами аппарата, а используется для предварительного охлаждения рыбы, с дальнейшей его рециркуляцией, что позволяет значительно сократить расход CO₂. При этом, существенно сокращается

время охлаждения форели, в отличие от способа работы аппарата на газообразном диоксиде углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппарат для холодильной обработки продуктов с рециркуляцией диоксида углерода [Текст]: пат. 2526653 Рос. Федерация: МПК F25D 3/12 F25D 13/06, / Неверов Е.Н., Буянов О.Н., Гринюк А.Н.; заявитель и патентообладатель Кем. технол. институт пищевой пром. - №2013120624/13; заявл. 06.05.2013; опублик. 27.08.2014, Бюл.№ 24.- 7 с. : ил.

2. Неверов Е.Н. Изменение качества рыбы, охлажденной диоксидом углерода / О.Н. Буянов, С.Н. Нечаев // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2011: [Текст]: материалы международной науч. – практ. конф. Том 4 / Одесский нац. морской ун.-т.; под ред. А.Г. Шибаева. – Одесса: Черноморье, 2011. – 95 с.

3. Неверов Е.Н. Охлаждение форели при двухстороннем отводе теплоты диоксидом углерода / А.И. Бабин; Д.С. Уржумов // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития [Текст]: материалы международной науч. – практ. конф. Часть 8 / Изд. ТРОО «Бизнес - Наука - Общество» – Тамбов: Изд. ТРОО БНО, 2013. – 173 с.

4. Неверов Е.Н. Применение диоксида углерода для холодильной обработки птицы и рыбы [Текст]: моногр. / Е.Н. Неверов, О.Н. Буянов. – Кемерово: КемТИПП, 2013. – 191 с.

5. Чижов Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов: Учебник. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 271 с.

Неверов Евгений Николаевич, к.т.н., доцент каф. «Теплохладотехника», Кемеровского технологического института пищевой промышленности, докторант каф. «Теплохладотехника», neverov42@mail.ru, 89235215385.