

О.Н. Буянов, Т.Ф. Киселева, Е.Н. Неверов, С.Н. Нечаев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ РЫБЫ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Проведены исследования характера изменения температурного поля и кинетики теплоотвода при охлаждении рыбы диоксидом углерода. Определены значения плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи при различных вариантах нанесения снегообразного  $\text{CO}_2$ . Установлено, что для более эффективного применения диоксида углерода целесообразно вводить его как во внутреннюю, так и на наружную поверхность рыбы.

Рыба, диоксид углерода, сублимация, температурное поле, плотность теплового потока, теплопроводность, температура, изотермы.

### Введение

В современном обществе существенно увеличился спрос на охлажденную рыбу, так как она, помимо высоких вкусовых качеств, содержит большое количество кальция, фтора, йода, а также много полезных для организма микроэлементов и при этом в ней мало жира, что как нельзя лучше вписывается в наметившуюся в последнее время тенденцию здорового питания.

Наибольшим спросом пользуется охлажденная рыба на Западе, ее потребление составляет до 90 %. На российском потребительском рынке объемы реализуемой рыбы в охлажденном виде невелики. Это связано с тем, что традиционные методы холодильной обработки рыбы, получившие большое распространение в промышленности (в качестве охлаждающих сред используют воздух, ледяную воду, растворы солей или водный лед), обладают рядом недостатков (увеличение времени охлаждения, ухудшение товарного вида), так как при контакте с охлаждающей жидкостью происходит набухание и экстракция соединений азота, просаливание. Это способствует ухудшению качества рыбы и сокращает сроки ее хранения [1].

В нашей стране и за рубежом большое внимание уделяется совершенствованию методов холодильной обработки рыбы и различным способам ее хранения. При этом внимание акцентируется на поиске новых методов и безопасных рабочих тел для применения в холодильной технике и технологии.

Одним из таких способов охлаждения является метод, основанный на применении эффекта сублимации – перехода  $\text{CO}_2$  из твердой фазы в газообразную при температуре минус  $78^\circ\text{C}$ . Принцип данного способа охлаждения заключается в нанесении снегообразного диоксида углерода на поверхность рыбы [2].

С целью реализации данного способа охлаждения были проведены эксперименты по холодильной обработке рыбы диоксидом углерода.

Основной задачей данных исследований являлось определение характера изменения температурного поля и плотности теплового потока охлаждаемой рыбы при различных вариантах нанесения снегообразного диоксида углерода на ее поверхность.

### Объекты и методы исследований

Анализ закономерности изменения температурного поля позволяет сделать вывод, что процесс охлаждения

Маркетинговые исследования в области торговли и общественного питания выявили, что из-за расчленения по уровню доходов большая часть населения предпочитает рыбу недорогих видов. В связи с этим исследования проводились с рыбой семейства карповых (толстолобиком) массой 1,4 кг, по степени упитанности относящейся ко второй группе.

В первой серии экспериментов рыбу размещали в картонных коробках, затем снегообразный  $\text{CO}_2$  подавали на наружную поверхность рыбы и коробки помещали в теплоизолированную камеру с температурой  $20^\circ\text{C}$ . Температуру рыбы измеряли с помощью хромель-копелевых термопар, подключенных к контроллеру температуры ТРМ-138, причем термопары устанавливались на глубине в тушки рыбы  $b = 1; 12,5; 25$  мм. Плотность теплового потока контролировалась с помощью датчика-тепломера, расположенного на наружной поверхности рыбы, подключенного к измерителю плотности теплового потока ИПП-2. Массу снега  $\text{CO}_2$  определяли взвешиванием на электронных весах.

### Результаты и их обсуждение

Схема расположения термопар и термограмма процесса охлаждения рыбы показаны на рис. 1.

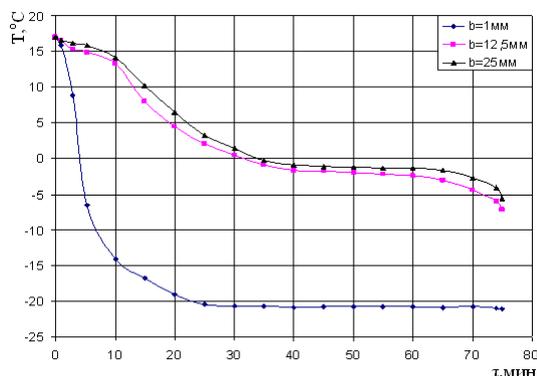


Рис. 1. Термограмма процесса охлаждения рыбы снегообразным  $\text{CO}_2$ , расположенным на наружной поверхности

охлаждения наружного слоя рыбы происходит довольно интенсивно за счет непосредственного кон-

такта  $\text{CO}_2$  с тушкой рыбы, что приводит к существенному подмораживанию поверхностных слоев рыбы, в то время как внутренний слой недостаточно эффективно охлаждается, что может привести к развитию микроорганизмов во внутренней полости рыбы после окончания сублимации диоксида углерода. Среднеобъемная температура тушки рыбы, равная  $-3^\circ\text{C}$ , устанавливается на 16 минуте.

Кинетика теплоотвода такого способа охлаждения свидетельствует о том, что значение плотности теплового потока составляет  $2370 \text{ Вт/м}^2$ , а значение коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности –  $27 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$  (рис. 2).

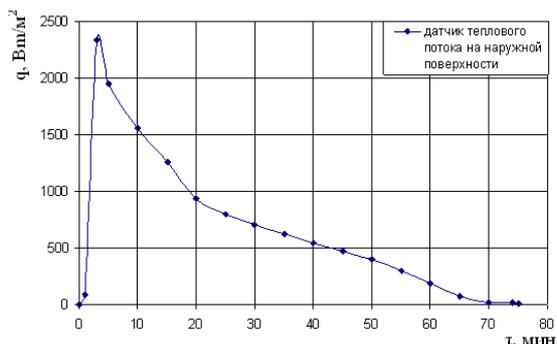


Рис. 2. Плотность теплового потока при охлаждении рыбы снегообразным  $\text{CO}_2$ , расположенным на наружной поверхности

Следующие серии экспериментов проводились аналогично первым, при этом снегообразный  $\text{CO}_2$  подавали во внутреннюю полость тушки рыбы, на поверхности которой также измерялась плотность теплового потока. Результаты исследований представлены на рис. 3.

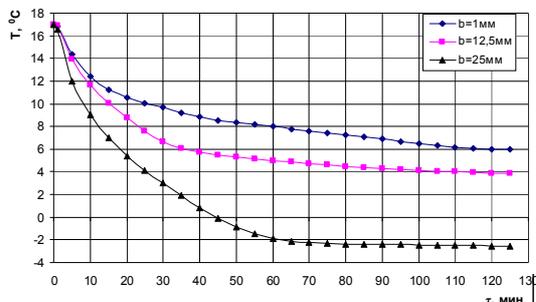


Рис. 3. Термограмма процесса охлаждения рыбы снегообразным  $\text{CO}_2$ , расположенным во внутренней полости

Анализ результатов эксперимента показал, что во внутреннюю полость рыбы можно поместить до  $0,110 \text{ кг}$  снегообразного  $\text{CO}_2$ . Сублимация всего снега  $\text{CO}_2$  происходит в течение 110 мин, а среднеобъемная температура при этом устанавливается в пределах  $2,5^\circ\text{C}$ . Кроме того, процесс охлаждения внутреннего слоя мяса происходит довольно интенсивно до достижения криоскопической температуры, после чего начинает происходить фазовый переход воды в лед, что влечет за собой выделение скрытой теплоты кристаллизации и, как следствие, снижение темпа понижения температуры. Снижение интенсивности темпа падения температуры внутреннего

слоя после понижения температуры ниже криоскопической в данном случае объясняется еще и тем, что часть снегообразного  $\text{CO}_2$ , находящегося во внутренней полости рыбы, уже сублимировала и между костным скелетом тушки и хладагентом образовалась газовая подушка, создающая термическое сопротивление теплоотдаче.

Об этом же свидетельствует и кинетика теплоотвода (рис. 4). Поэтому, несмотря на то, что температура сублимации снегообразного диоксида углерода составляет минус  $78^\circ\text{C}$ , плотность теплового потока в этом случае  $1440 \text{ Вт/м}^2$ , а коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности тушки рыбы –  $15,3 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ .

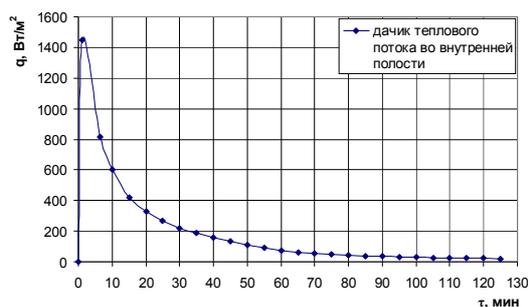


Рис. 4. Плотность теплового потока при охлаждении рыбы снегообразным  $\text{CO}_2$ , расположенным во внутренней полости

Таким образом, снега, помещенного во внутреннюю полость рыбы, недостаточно для охлаждения поверхностных слоев, что в процессе хранения может привести к порче.

В результате обследования внутренней полости рыбы после полной сублимации  $\text{CO}_2$  не зафиксировано явления подмораживания мяса.

Это объясняется тем, что снегообразный диоксид углерода занимал внутреннюю полость рыбы, защищенную костным скелетом, а потому не имел непосредственного контакта с мясом.

Результаты экспериментов, в которых снегообразный  $\text{CO}_2$  подавали как во внутреннюю полость, так и на наружную поверхность рыбы, представлены на рис. 5.

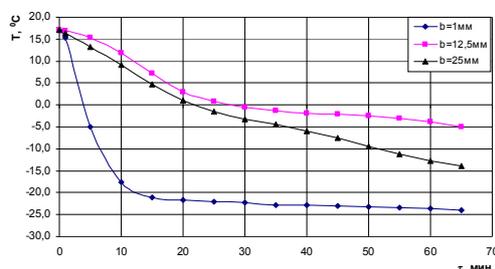


Рис. 5. Термограмма процесса охлаждения рыбы снегообразным  $\text{CO}_2$ , расположенным на поверхности и во внутренней полости

Экспериментально установлено, что при соотношении массы охлаждаемой рыбы к массе снегообразного  $\text{CO}_2$   $1,4/1,0$ , причем во внутреннюю полость ры-

бы подается 0,110 кг, среднеобъемная температура устанавливается в пределах  $-3 \div -4$  °С на 15 минуте.

Анализ характера изменения температурного поля продукта свидетельствует о том, что после подачи снегообразного  $\text{CO}_2$  как во внутреннюю полость, так и на наружную поверхность рыбы температура поверхности падает более интенсивно по сравнению с вариантами подачи холодильного агента только на поверхность. Это объясняется тем, что увеличилось общее количество снегообразного  $\text{CO}_2$  в замкнутом пространстве. Кривая изменения плотности теплового потока показывает, что максимальный теплоотвод происходит в первоначальный момент, так как разность температур максимальна и  $q$  составляет  $2550 \text{ Вт/м}^2$ . После чего происходит резкое падение плотности теплового потока в течение 5 мин, вызванное снижением температуры поверхности, затем  $q$  стабилизируется и приближается к нулевому значению. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности при этом составляет  $29,5 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ .

Изменение температуры внутреннего слоя рыбы показывает, что темп падения температуры тоже существенно возрастает по сравнению с вариантом подачи холодильного агента только во внутреннюю полость, что также объясняется увеличением общего количества снегообразного  $\text{CO}_2$  в замкнутом объеме из-за нанесения холодильного агента на наружную поверхность тушки рыбы.

В этом случае значение плотности теплового потока составит  $1650 \text{ Вт/м}^2$ , а коэффициент теплоотдачи возрастает до  $19 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$  (рис. 6).

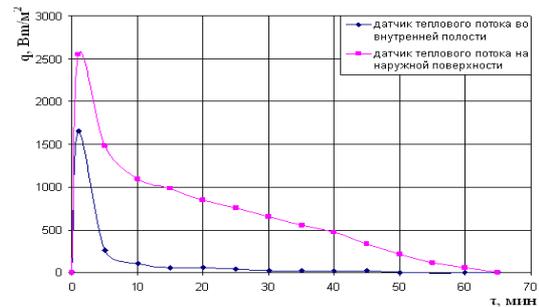


Рис. 6. Плотность теплового потока при охлаждении рыбы снегообразным  $\text{CO}_2$ , расположенным на поверхности и во внутренней полости

При прохождении зоны криоскопической температуры наблюдается небольшое повышение температуры, что связано с выделением теплоты при фазовом переходе, после чего температура начинает снова снижаться.

Характер изменения температурного поля тушки рыбы, кинетика теплоотвода и значения коэффициентов теплоотдачи подтверждают предположение, что при двухстороннем отводе тепла снегообразным  $\text{CO}_2$  теплообмен оказывается несимметричным.

Введение снегообразного диоксида углерода внутрь тушки рыбы оправдано, так как часть снега  $\text{CO}_2$ , размещенная во внутренней полости рыбы, сублимирует только за счет теплоты, отводимой от мяса, тогда как снегообразный  $\text{CO}_2$ , находящийся на поверхности рыбы, отводит теплоту также и от окружающей среды, что приводит к значительному сокращению длительности сублимации. При этом необходимо учесть тот факт, что диоксид углерода подавляет действие многих микроорганизмов и размещение его во внутренней полости тушки рыбы приведет к увеличению сроков ее хранения.

#### Список литературы

1. www.ikc-apk.kuban.ru
2. Буянов, О.Н. Исследование работы генератора-дозатора снегообразного диоксида углерода / О.Н. Буянов, А.А. Горохов, Е.Н. Неверов // Вестник Международной академии холода. – 2005. – № 4. – С. 20–21.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

#### SUMMARY

O.N. Bujanov, T.F. Kiselyova, E.N. Neverov, S.N. Nechaev

#### Investigation of refrigeration processing of fish with carbon dioxide

Researches on changes of a temperature field and heat-rejection kinetics while cooling fish with carbon dioxide have been done. The density values of a heat flow and a heat-conduction coefficient have been defined at various variants of applying snow-like  $\text{CO}_2$ . It has been established that for more effective application of carbon dioxide, it is expedient to introduce it both on internal and external fish surfaces.

Fish, carbon dioxide, sublimation, temperature field, heat flow density, heat conductivity, temperature, isotherms.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: [office@kemtipp.ru](mailto:office@kemtipp.ru)

