

# Применение диоксида углерода для замораживания тушек птицы

Д-р техн. наук, проф. О. Н. БУЯНОВ, канд. техн. наук Е. Н. НЕВЕРОВ

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности

г. Кемерово, бульвар Строителей, 47

*There has been studied temperature field and kinetics of heat removal when broiler meat is frozen with carbon dioxide in a circulating air-gas environment and with inserting snow-wise CO<sub>2</sub> into the internal cavity of the poultry. Values of heat flow density and heat transfer coefficient at various rates of movement of air-gas environment are measured. Application of air-gas environment circulation during freezing poultry meat was found to reduce the time of freezing down to 35 %. The resulting data allowed compiling a nomogram.*

**Key words:** quick freezer, carbon dioxide, contact freezing, poultry bodies, submersion and spraying methods, freezing nomogram.

**Ключевые слова:** скороморозильный агрегат, диоксид углерода, контактное замораживание, тушки птицы, методы погружения и орошения, номограмма замораживания.

Методы криогенного замораживания пищевых продуктов давно привлекают внимание специалистов, так как они являются прогрессивными способами консервирования продуктов питания с точки зрения сохранности их пищевой и биологической ценности.

Благодаря низкой температуре кипения криогенных веществ при атмосферном давлении достигается большая разность температур и вследствие этого — высокая интенсивность теплоотдачи от поверхности продукта, приводящая к сокращению продолжительности процесса и минимальным потерям массы продукта за счет усушки без применения специальных упаковочных материалов [1].

К одной из разновидностей методов криогенного замораживания пищевых продуктов можно отнести замораживание с использованием диоксида углерода.

Контактное замораживание пищевых продуктов диоксидом углерода в настоящее время производят методами погружения и орошения. При применении данных технологий CO<sub>2</sub> находится в непосредственном контакте с продуктом, не оказывая влияния на его качество, а даже, наоборот, способствует увеличению сроков хранения обработанных пищевых продуктов. Кроме того, диоксид углерода является экологически безопасным криоагентом.

Диоксид углерода можно применять для контактного замораживания мяса и мясных продуктов любого вида. При этом CO<sub>2</sub> обладает бактерицидными свойствами, является эффективным средством для подавления размножения анаэробных бактерий на поверхности продук-

та и снижает окислительные процессы, происходящие в пищевых продуктах [2].

В нашей стране этот метод пока не нашел широкого применения. Причинами, сдерживающими его использование в широком масштабе, являются значительный расход CO<sub>2</sub> при замораживании продуктов в скороморозильных аппаратах и высокая стоимость хладагента.

Для замораживания тушек птицы был разработан скороморозильный аппарат, который работает по дискретному принципу. Для максимального использования теплоты сублимации снегообразный диоксид углерода, полученный в результате дросселирования в специально разработанном генераторе-дозаторе, подают во внутреннюю полость туши птицы, а газообразный CO<sub>2</sub> — на наружную поверхность туши через форсунки.

При данном принципе холодильной обработки процесс замораживания происходит за счет отвода теплоты от наружной поверхности газообразным диоксидом углерода и от внутренней поверхности туши птицы — сnegoобразным.

Основной задачей данных исследований являлось определение продолжительности замораживания мяса птицы диоксидом углерода при различных скоростях движения воздушно-газовой среды в скороморозильном аппарате.

Измерения температурного поля туши птицы производили при помощи хромель-копелевых термопар, подключенных к измерительному комплексу. При помощи измерителя или датчика плотности теплового потока ИПП-2 параллельно проводились измерения плотности теплового потока с наружной и внутренней поверхностей

тушки птицы. Скорость воздуха в скороморозильном аппарате контролировалась электронным анемометром.

Опыты проводили с неупакованными бройлерами 2-й категории упитанности массой 1,2–1,3 кг и толщиной грудной мышцы  $29 \pm 2$  мм. Тушки замораживали до среднеобъемной температуры в грудной мышце минус 18 °С.

Во время исследований была проведена серия экспериментов при различных скоростях движения воздушно-газовой среды: первые опыты — без циркуляции воздуха, последующие — при скорости воздуха 5 и 7 м/с. Во всех экспериментах температура в аппарате поддерживалась на уровне минус 60 °С.

Схема расположения термопар и термограмма процесса замораживания туши птицы без циркуляции воздушно-газовой среды показана на рис. 1.

Время замораживания туши птицы в этом случае составило 32 мин. Анализируя полученные изотермы, можно сделать вывод, что процесс охлаждения слоев 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. После прохождения данного участка изотермы показывают изменение температуры туши после вымерзания основной части воды. Здесь снова ускоряется понижение температуры.

При рассмотрении термограммы (см. рис. 1) можно наблюдать, что замораживание наружного слоя туши происходит интенсивнее, чем внутреннего.

Это связано с тем, что объема снегообразного диоксида углерода, размещенного во внутренней полости туши птицы, недостаточно для интенсивного понижения температуры внутренних слоев.

Кривая изменения плотности теплового потока от наружной поверхности (рис. 2) показывает, что максимальный теплоотвод происходит в первоначальный момент, так как разность температур максимальна и  $q = 3250 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . После этого в течение 8 мин происходит резкое падение плотности теплового потока, вызванное снижением температуры поверхности. Затем  $q$  стабилизируется и при достижении среднеобъемной температуры в грудной мышце туши минус 18 °С приближается к  $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Среднеинтегральная величина коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности при этом составляет  $16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Максимальное значение плотности теплового потока от внутренней поверхности туши составляет  $1250 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , а среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи уменьшится до  $6,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Время замораживания туши птицы со скоростью воздушно-газовой среды 5 м/с составило 20 мин (рис. 3).

Анализируя полученные кривые, можно сделать вывод: более интенсивное падение температуры происходит на наружных слоях туши за счет отвода теплоты газообразным  $\text{CO}_2$ , несмотря на то, что во внутренней полости туши диоксид углерода находится в снегообразном состоянии и его теплоемкость выше, чем у газа. Это можно объяснить тем, что часть сnegoобразного  $\text{CO}_2$ , находящегося во внутренней полости туши птицы,

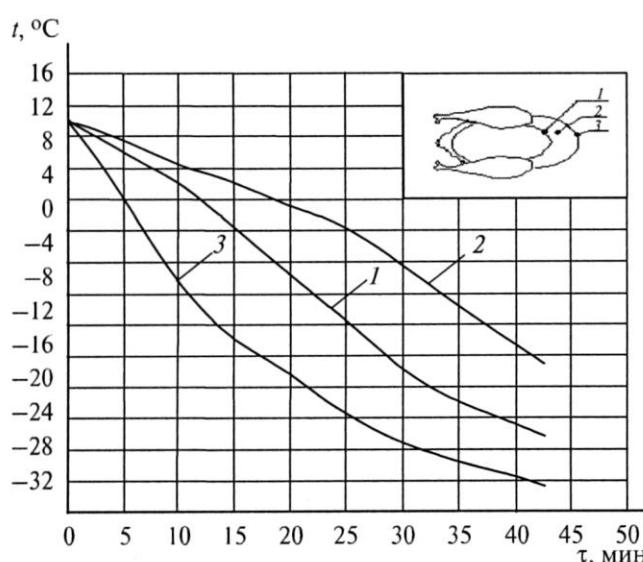


Рис. 1. Термограмма процесса замораживания туши птицы без циркуляции воздушно-газовой среды:  
1 — внутренний слой; 2 — промежуточный слой;  
3 — наружный слой

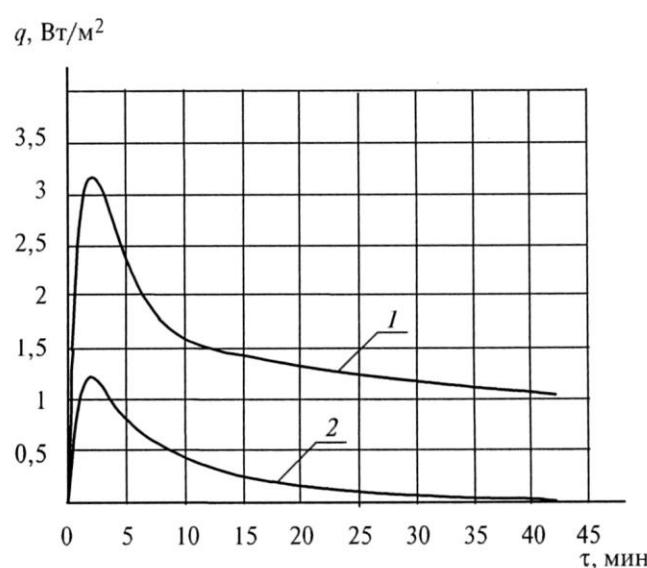


Рис. 2. Изменение плотности теплового потока при замораживании туши птицы без циркуляции воздуха:  
1 — на наружной поверхности;  
2 — на внутренней поверхности

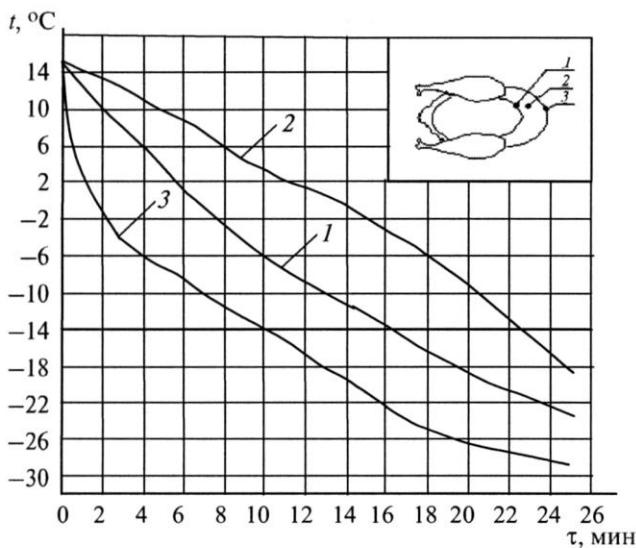


Рис. 3. Термограмма процесса замораживания тушки птицы при циркуляции воздушно-газовой среды со скоростью 5 м/с:  
1 — внутренний слой; 2 — промежуточный слой;  
3 — наружный слой

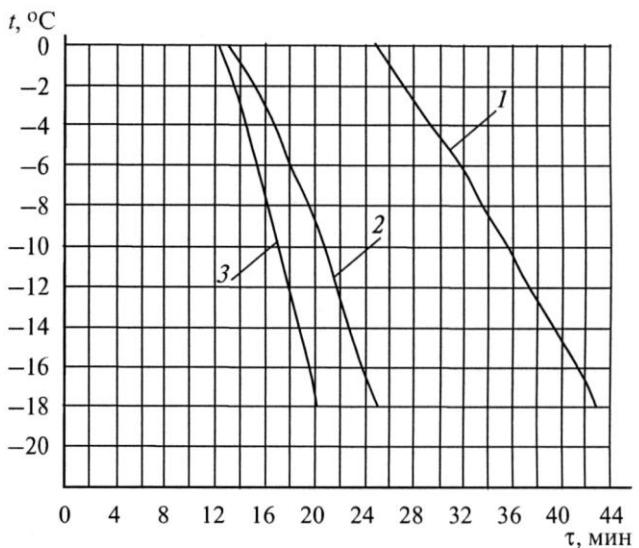


Рис. 5. Номограмма замораживания мяса птицы  $\text{CO}_2$  при скорости воздуха:  
1 — 0 м/с; 2 — 5 м/с; 3 — 7 м/с

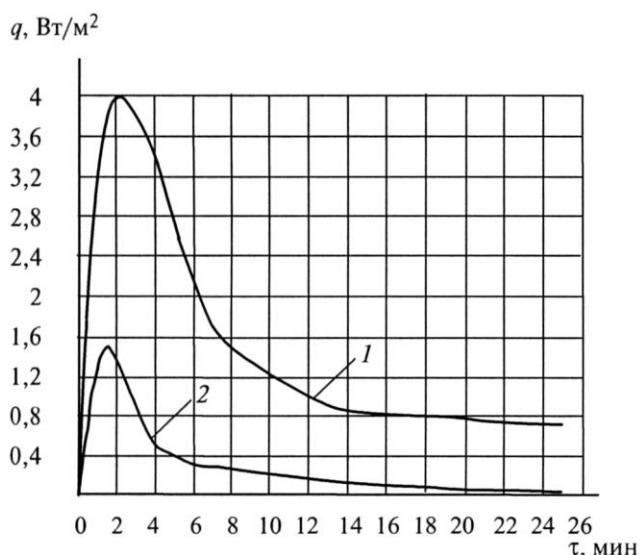


Рис. 4. Изменение плотности теплового потока при замораживании тушки птицы с циркулирующей воздушно-газовой средой со скоростью 5 м/с:  
1 — на наружной поверхности;  
2 — на внутренней поверхности

в первоначальный момент времени за счет высокой разности температур начинает интенсивно сублимировать и между костным скелетом тушки и хладагентом образуется газовая прослойка, создающая термическое сопротивление теплоотдаче, в которой воздух находится

в неподвижном состоянии (аналогично первому эксперименту). Наружные же слои в данном случае подвержены принудительной конвекции воздушно-газовой среды, за счет чего теплообмен происходит более интенсивно, а количество отведенной теплоты от тушки в первоначальный момент холодильной обработки значительно больше в отличие от предыдущего эксперимента без циркуляции воздушно-газовой среды. Об этом также свидетельствует и кинетика теплоотвода (рис. 4).

Несмотря на то, что температура сублимации снегообразного диоксида углерода составляет минус 78 °C, среднеинтегральное значение  $q$  от внутренней поверхности в этом случае равно 360 Вт/м<sup>2</sup>, а среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи — 8,2 Вт/(м<sup>2</sup>·К), тогда как среднеинтегральное значение плотности теплового потока от наружной поверхности равно 900 Вт/м<sup>2</sup> и среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи — 19,6 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

С дальнейшим увеличением скорости воздушно-газовой среды тенденция к уменьшению времени замораживания тушек сохранялась. Так, было установлено, что при скорости 7 м/с время замораживания составляет 16 мин. Значение максимальной плотности теплового потока от наружной и внутренней поверхностей составляет соответственно 5000 и 2000 Вт/м<sup>2</sup>, а среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности — 20,2 Вт/(м<sup>2</sup>·К) и от внутренней — 9,3 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Таким образом, применение циркуляции воздушно-газовой среды при замораживании тушек птицы позволяет сократить продолжительность замораживания и снизить расход диоксида углерода.

Однако при выборе скорости движения воздушно-газовой среды при данном способе замораживания необходимо учитывать, что с повышением скорости циркуляции воздуха увеличиваются энергозатраты на привод вентиляторов.

По результатам проведенных исследований была разработана номограмма (рис. 5).

Приведенная выше номограмма позволяет определять время замораживания при известных скорости воздуха и температуре тушки птицы, до которой необходимо производить холодильную обработку продукта.

#### Список литературы

1. Большаков О. В. Российская отраслевая наука: современные холодильные технологии и решение проблемы здорового питания // Холодильная техника. 2002. № 2.
2. Неверов Е. Н. Изменение качества мяса птицы, охлажденной снегообразным СО<sub>2</sub> при транспортировании в неохлаждаемом транспорте // Пищевые продукты и здоровье человека: Сб. тезисов докладов 6-й региональной аспирантско-студ. конференции. — Кемерово, 2006.