

ПРИМЕНЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУШЕК КРОЛИКА

Неверов Е.Н.¹, Гринюк А.Н.¹, Третьякова Н.Г.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)", Кемерово, Россия (650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47), e-mail: office@kemtipp.ru

Проведены исследования характера изменения температурного поля и кинетики теплоотвода при охлаждении тушек кролика диоксидом углерода. Определены значения плотности теплового потока, коэффициента теплоотдачи и расхода CO₂ при разных температурах в аппарате. Составлена номограмма для определения массы диоксида углерода при охлаждении мяса кролика. Таким образом, разработанная номограмма, при внедрении в промышленность аппарата с рециркуляцией диоксида углерода для холодильной обработки мяса кролика позволит технологам определять с высокой точностью количество CO₂ необходимого для поддержания нормируемой температуры и времени охлаждения тушек кролика. Выявлено, что данный способ позволяет в несколько раз увеличить срок хранения мяса, благодаря ингибирующим свойствам диоксида углерода. При этом основной недостаток сдерживающий применение диоксида углерода контактным способом это его расход на охлаждения продуктов и сложность рекуперации.

Ключевые слова: диоксид углерода, охлаждение, мясо кролика.

THE USE OF CARBON DIOXIDE FOR COOLING CARCASSES RABBIT

Neverov E.N.¹, Grinyuk A.N.¹, Tretyakov N.G.¹

Federal State-owned Budgetary Educational Institution of Higher Vocational Education Kemerovo Food Science and Technology (University), Kemerovo, Russia (650056, Kemerovo, br Builders, 47), e-mail: office@kemtipp.ru

Investigations of the nature of the temperature field and the kinetics of the heat sink with cooling rabbit carcasses carbon dioxide. The values of the density of heat flow, heat transfer coefficient and flow of CO₂ at different temperatures in the machine. Compiled nomogram for determining the mass of carbon dioxide in the cooling of rabbit meat. Thus, developed a nomogram, the introduction of the device in the industry to recycle carbon dioxide refrigeration processing of rabbit meat will allow technologists to determine accurately the amount of CO₂ needed to maintain the rated temperature and the cooling time of the rabbit carcasses. It was revealed that this method allows to increase the shelf life of meat due to the inhibitory properties of carbon dioxide. Thus the main disadvantage of constraining the use of carbon dioxide, the contact method is its cooling costs and complexity of product recovery.

Keywords: carbon dioxide, cooling, rabbit meat.

В современном обществе существенно увеличился спрос на охлажденное мясо кролика, так как оно обладает низким содержанием жира и холестерина, по витаминному и минеральному составу превосходит почти все иные виды мяса. Мясо кролика практически несравнимо с другими видами, так как обладает богатым витаминным составом, содержит большое количество минеральных веществ. Благодаря органолептическим свойствам, биологической ценности, нежности мяса, его рекомендуют людям, страдающим заболеваниями сердечно-сосудистой системы, гипертонией, сахарным диабетом, болезнями желудочно-кишечного тракта, желчных путей, аллергикам, в послеоперационный период ослабленным больным [9].

В последние годы набирает темп производства мяса кролика в России и за рубежом. Российские объемы производства не велики, основная часть поставляется из-за границы в

замороженном состоянии, что очень сильно снижает качество мяса. Для сохранения качества и полезных свойств крольчатины, ее необходимо реализовывать в охлажденном виде.

В настоящее время для охлаждения кролика в промышленности находят применение ряд методов: воздушное, воздушно-капельное, погружное, гидроаэрозольное охлаждение, все эти методы находят широкое применение, несмотря на ряд существенных недостатков, что в конечном итоге приводит к сокращению времени хранения.

В связи с этим в мировой практике уделяется большое внимание совершенствованию методов холодильной обработки мяса кролика и различным способам его хранения. При этом внимание акцентируется на поиске высокоэффективных методов и безопасных рабочих тел для применения в холодильной технике и технологии [1].

Одним из таких способов охлаждения является метод, основанный на применении эффекта сублимации – перехода CO_2 из твердой фазы в газообразную при температуре минус 78°C . Принцип данного способа охлаждения заключается в нанесении снегообразного диоксида углерода на поверхность тушки [2].

По многочисленным исследованиям данный способ позволяет в несколько раз увеличить срок хранения мяса, благодаря ингибирующим свойствам диоксида углерода. При этом основной недостаток сдерживающий применение диоксида углерода контактным способом это его расход на охлаждения продуктов и сложность рекуперации [5].

Нами была разработана модель аппарата для обработки тушек кролика снегообразным CO_2 , принцип работы которого заключается в подачи порции снегообразного CO_2 во внутреннюю полость тушки кролика и при необходимости на наружную поверхность, после чего тушка помещается в упаковку и отправляется на реализацию. Принцип работы данного аппарата позволяет значительно снизить расход диоксида углерода за счет отвода теплоты непосредственно от тушки кролика, использовать для дополнительного охлаждения газообразный CO_2 и рекуперировать его [4].

С целью определения оптимального варианта работы аппарата и внедрения его в промышленность на нем были проведены исследования по охлаждению тушек кролика массой от 1,0 до 2,0 кг.

Эксперименты проводились при температуре в аппарате от 20 до 5°C , в результате чего получены зависимости изменения температурного поля тушки кролика, кинетика теплоотвода, время холодильной обработки и расходы диоксида углерода.

Измерения осуществлялись с двух противоположных сторон тушки кролика при помощи шести термпар. Термпары были установлены с двух противоположных сторон грудной клетки симметрично относительно позвоночника тушки кролика, бедре и упаковке, а так же установлены датчики измерителя плотности тепловых потоков.

Данная схема установки средств измерения необходима для того чтобы определить разницу в изменении температурных полей между верхней и нижней частью тушки, так как теплоотвод по объему тушки может оказаться не равномерным.

Первая группа экспериментов была проведена по охлаждению упакованных тушек кролика снегообразным CO_2 расположенным во внутренней полости массой 1,8 кг при температуре в аппарате 20°C . Схема установки термодпар представлена на рисунке 1.

Время охлаждения и соответственно полной сублимации диоксида углерода составило 72 минуты, при этом расход снегообразного CO_2 подаваемого во внутреннюю полость составил 0,280 кг.

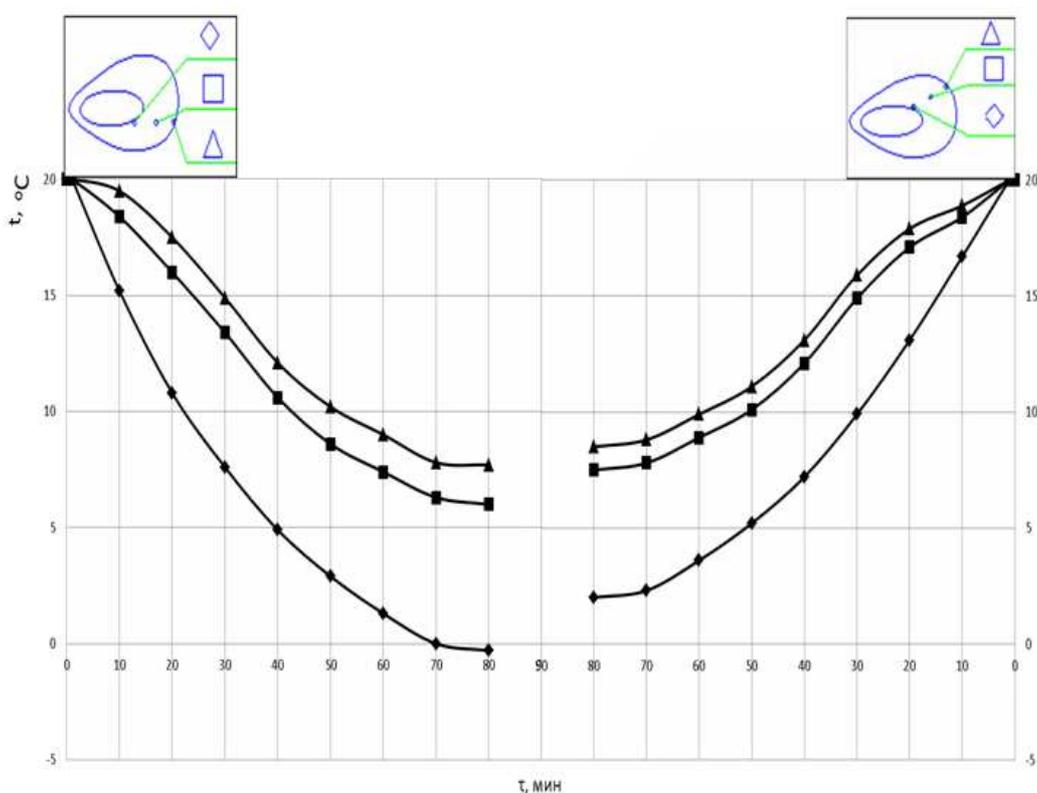


Рис. 1. Термограмма процесса охлаждения упакованной тушки кролика массой 1,8 кг при температуре в камере 20°C

Анализ термограммы (рис. 1) показывает, что процесс охлаждения внутреннего слоя верхней поверхности тушки происходит довольно интенсивно, в связи с тем, что в первоначальный момент времени газовая прослойка между снегом и внутренней поверхностью кролика практически отсутствует и тушка находится в непосредственном контакте со снегообразным диоксидом углерода. Разница температур между поверхностями одинаковая. Однако после первой минуты верхняя поверхность внутреннего слоя начинает

охлаждаться менее интенсивно, чем нижняя, так как при сублимации твердой фазы диоксида углерода между верхней поверхностью начинает интенсивно образовываться газовая прослойка, снижающая интенсивность отвода теплоты снегообразным диоксидом углерода. Охлаждение центральной верхней части тушки происходит менее интенсивно, так как отвод теплоты происходит в основном за счет теплоотвода к внутренней полости, в которой находится снегообразный диоксид углерода.

Охлаждение наружной поверхности на верхней части тушки происходит за счет отводимой теплоты снегообразным CO_2 расположенным во внутренней полости, а также за счет воздушно-газовой среды образующейся в упаковке при сублимации снегообразного CO_2 , при этом данная поверхность охлаждается очень медленно и в конце сублимации снегообразного диоксида углерода не достигает нормируемой температуры.

Так как, термопары расположены симметрично относительно позвоночника тушки, то процессы охлаждения поверхностей нижней части тушки аналогичны процессам охлаждения верхних слоев. При этом нижняя часть тушки охлаждается интенсивней, в связи с тем что, снегообразный диоксид углерода в течение всего процесса сублимации находится в непосредственном контакте с нижней поверхностью внутренней полости, а следовательно, процесс отдачи теплоты происходит более интенсивно.

Охлаждение бедра тушки кролика, происходит воздушно-газовой средой, образованной в упаковке при сублимации CO_2 с температурой $11,1^\circ\text{C}$. Температура в бедре на момент окончания сублимации составила $9,4^\circ\text{C}$.

В конце сублимации температура на нижней внутренней поверхности устанавливается в пределах минус $0,3^\circ\text{C}$, при этом температура среднеобъемная находится на уровне $6,1^\circ\text{C}$, что не соответствует нормируемой. Охлаждение наружного слоя происходит не достаточно эффективно в конце процесса сублимации, всего $7,7^\circ\text{C}$.

На верхней поверхности температура внутреннего слоя составила 2°C , при этом среднеобъемная температура $7,6^\circ\text{C}$, а охлаждение наружного слоя происходит не достаточно эффективно в конце процесса сублимации $8,5^\circ\text{C}$.

На рисунке 2 изображен график плотности теплового потока при охлаждении кролика в упаковке массой $1,8\text{ кг}$ с подачей снегообразного CO_2 во внутреннюю полость при $t_k=20^\circ\text{C}$.

Анализируя экспериментальные данные, получаем, что средне-интегральное значение плотности теплового потока для нижней внутренней поверхности составляет $q_{\text{cp1}}=487,81\text{ Вт/м}^2$ и $q_{\text{cp2}}=273,75$ для противоположной, максимальное значение плотности теплового потока $q_{\text{max1}}=q_{\text{max2}}=2515\text{ Вт/м}^2$.

Максимальная плотность теплового потока наблюдается в первоначальный момент времени на обеих поверхностях, так как в этот момент разница температур между

внутренней поверхностью тушки и диоксидом углерода максимальна, и процесс теплоотвода наиболее интенсивен.

Далее наблюдается резкое падение плотности теплового потока, так как температура тушки начинает снижаться. Кроме того, плотность теплового потока от верхней части тушки снижается быстрее. Это можно объяснить тем, что при сублимации диоксида углерода пропадает непосредственный контакт верхней части тушки со снегообразным диоксидом углерода, и она охлаждается воздушно-газовой смесью, температура которой выше снега. Плотность теплового потока с нижней части тушки снижается не так стремительно, так как она находится в непосредственном контакте со снегообразным диоксидом углерода. После окончания процесса сублимации CO_2 плотность теплового потока приближается к нулевому значению.

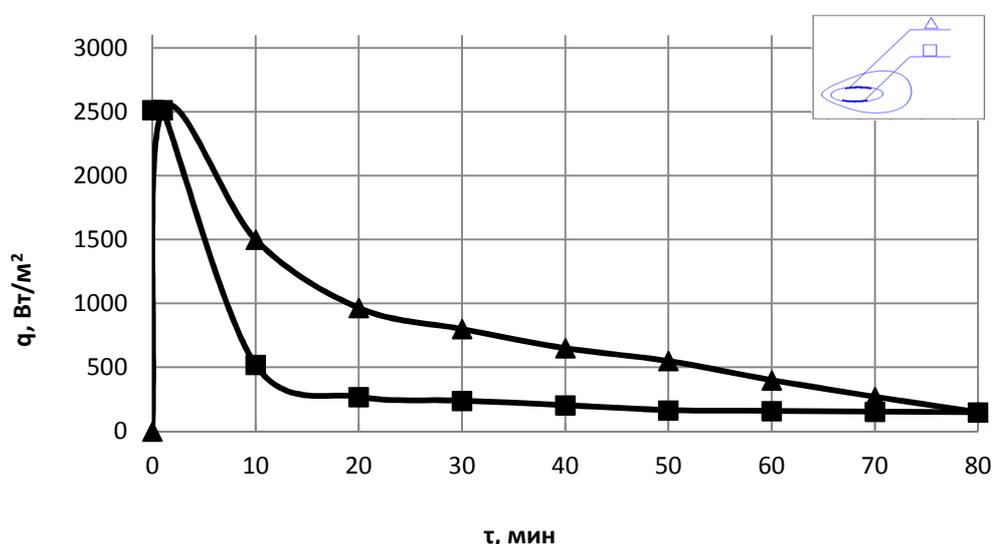


Рис. 2. График плотности теплового потока при охлаждении упакованного кролика массой 1,8 кг, с подачей снегообразного CO_2 во внутреннюю полость при $t_{\kappa}=20^{\circ}\text{C}$

Анализируя полученные значения коэффициента теплоотдачи можно сделать вывод, что среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи для нижней внутренней поверхности туша $\alpha_{cp1} = 5,44 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и $\alpha_{cp2} = 2,97 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ для противоположной. Максимальное значение коэффициента теплоотдачи составляет $\alpha_{\max1} = \alpha_{\max2} = 25,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Для того, чтобы добиться нормируемой температуры при данном методе охлаждения было увеличено количество снегообразного диоксида углерода во внутреннюю полость до 0,365 кг при этом время охлаждения увеличилось до 92 мин, полученные экспериментальные данные при различных массах тушки кролика и температуре 20°C представлены на номограмме рис. 3.

Для выявления более эффективного принципа работы аппарата было произведено снижение температуры в нем, за счет газообразного диоксида углерода до 10°C. В данном случае время охлаждения тушки кролика массой 1,8 кг составило 68 минут. Расход диоксида углерода составил 0,210 кг.

Снижение температуры всех слоев происходит аналогично предыдущему опыту, но более интенсивно. Это связано с тем, что часть теплоты отводит дополнительно воздушно-газовая среда в камере.

В конце сублимации диоксида углерода среднеобъемная температура нижней поверхности устанавливается в пределах 0,7°C, а на верхней 2,7°C, что соответствует нормируемой. Температура в бедре на момент окончания сублимации составила около 4°C.

Среднеинтегральное значение плотности теплового потока для нижней внутренней поверхности составляет $q_{cp1} = 537,75 \text{ Вт/м}^2$ для нижней внутренней поверхности и $q_{cp2} = 314 \text{ Вт/м}^2$ для противоположной. Максимальное значение плотности теплового потока $q_{max1} = q_{max2} = 2605 \text{ Вт/м}^2$.

Изменения теплового потока аналогичны предыдущему опыту, но график плотности теплового потока проходит выше, чем в предыдущем эксперименте, так как из графика видно, что помимо отводимой теплоты снегообразным диоксидом углерода отображается теплота, отводимая воздушно-газовой средой подаваемой в аппарат. При данном способе охлаждения среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи для нижней внутренней поверхности $\alpha_{cp1} = 6,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ и $\alpha_{cp2} = 3,44 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ для противоположной. Максимальное значение коэффициента теплоотдачи составляет $\alpha_{max1} = \alpha_{max2} = 26,58 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Далее были проведены исследования с тушками кроликов различной массы и температурой в аппарате 5÷20°C, по результатам исследований составлена номограмма (рис. 3).

Номограмма позволяет определять расход диоксида углерода и время охлаждения до нормируемой температуры тушки кролика в зависимости от температуры в камере и массы продукта.

На данной номограмме по оси абсцисс расположена масса CO₂ (кг). По оси ординат масса тушки кролика (кг). На верхней оси представлено время холодильной обработки (мин). В рабочей области номограммы расположены температуры в аппарате от 5 до 20°C.

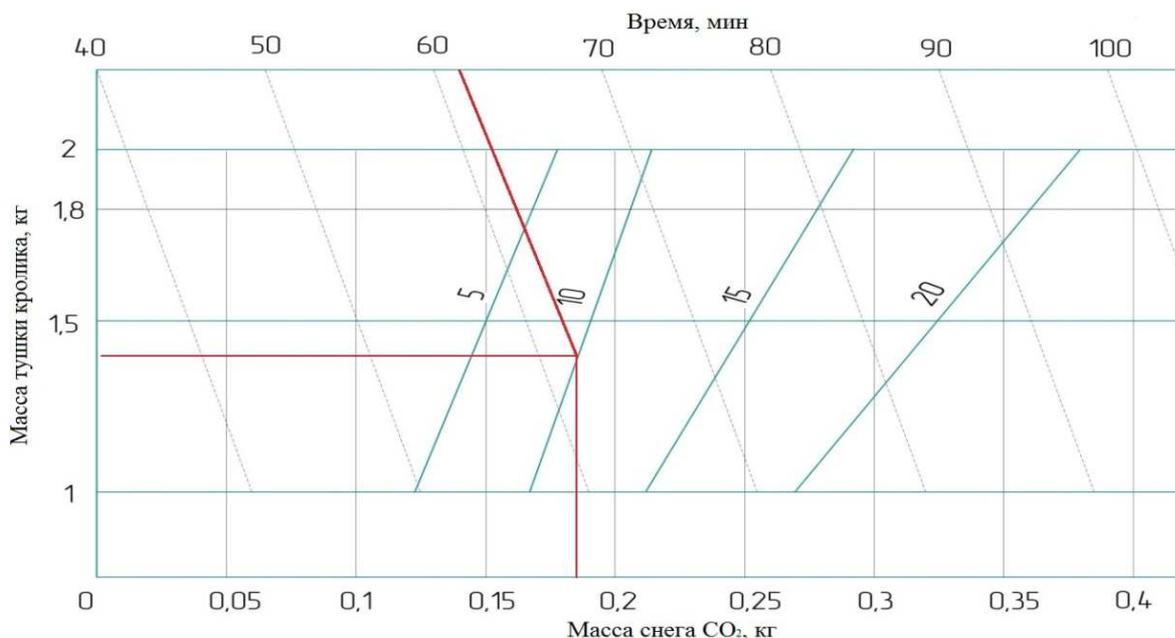


Рис. 3. Номограмма для определения массы диоксида углерода при охлаждении мяса кролика

Принцип работы с номограммой заключается в следующем. Для определения количества снегообразного CO_2 и продолжительности охлаждения тушки кролика, зная массу кролика и температуру в аппарате необходимо: на линии масс тушки кролика найти точку пересечения с требуемой изотермой в камере; из точки пересечения опустить перпендикуляр на ось абсцисс и определить массу диоксида углерода; из точки пересечения массы кролика и температуры в камере провести линию на ось времени параллельную вспомогательным линиям и определить требуемое время охлаждения.

Таким образом, разработанная номограмма, при внедрении в промышленность аппарата с рециркуляцией диоксида углерода для холодильной обработки мяса кролика позволит технологам определять с высокой точностью количество CO_2 необходимого для поддержания нормируемой температуры и времени охлаждения тушек кролика.

Список литературы

1. Большаков О.В. Российская отраслевая наука: современные холодильные технологии и решение проблемы здорового питания // Холодильная техника. – 2002. – № 6. – С. 37-42.
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.

3. Волкова О.В. Морфологический состав и биологическая ценность мяса кроликов / О.В. Волкова, А.Т. Инербаева, К.Я. Мотовилов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 8. – С. 97-101.
4. Гринюк А.Н. Аппарат для холодильной обработки мяса кролика в среде диоксида углерода / А.Н. Гринюк, Е.Н. Неверов, Е.О. Храмцов, К.С. Лапшин // Пищевые инновации и биотехнологии: Сб. материалов Международной научной конференции – Кемерово, 2014. – С. 236-239.
5. Неверов Е.Н. Изменение качества мяса птицы, охлажденной снегообразным СО₂ при транспортировании в неохлаждаемом транспорте // Пищевые продукты и здоровье человека: Сб. тезисов докладов 6-й региональной аспирантско – студ. конференции. – Кемерово, 2006. – С. 25-26.
6. Неверов Е.Н. Применение диоксида углерода для холодильной обработки мяса кролика / Е.Н. Неверов, А.Н. Гринюк // Научная дискуссия: инновации в современном мире: Сб. материалов XIV Международной научно – практической конференции – М., 2013. – С 21-24.
7. Неверов Е.Н. Применение диоксида углерода для холодильной обработки птицы и рыбы / Е.Н. Неверов; О.Н. Буянов // Монография. – КемТИПП: Кемерово, 2013. – 191 с.
8. Неверов Е.Н. Применение упаковки при охлаждении цыплят-бройлеров диоксидом углерода / Е.Н. Неверов; О.Н. Буянов; А.Н. Гринюк // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 2. – С.15-19.
9. TEBIZ GROUP Рынок мяса кроликов в России / GROUP TEBIZ. Итоги 2012 года. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://tebiz.ru> (дата обращения 24.10.2014).

Рецензенты:

Руднев С.Д., д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВО «КемТИПП», г. Кемерово;

Павский В.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Высшая математика» ФГБОУ ВО «КемТИПП», г. Кемерово.