УДК641.664.8.037.5

Охлаждение рыбы снегообразным диоксидом углерода

Канд. техн. наук **Е. Н. НЕВЕРОВ**
neverov42@mail.ru
Кемеровский технологический институт пищевой промышленности
650056, г. Кемерово, бульвар Строителей, 47

Основной задачей исследований, поставленной авторами в данной статье, стало определение характера изменения температурного поля и плотности теплового потока при охлаждении рыбы, времени охлаждения рыбы, расхода диоксида углерода, а также определение оптимальных размеров тушки рыбы, позволяющих вводить во внутреннюю полость рыбы определенное количество снегообразного диоксида углерода. Проведены исследования характера изменения температурного поля и кинетики теплоотвода, при охлаждении рыбы (карпа) снегообразным диоксидом углерода, размещенным во внутренней полости рыбы. Определено время охлаждения рыбы, расход диоксида углерода при различных массах промыслового карпа, а также определены оптимальные размеры тушки рыбы, позволяющие вводить во внутреннюю полость определенное количество снегообразного диоксида углерода, достаточное для достижения нормируемой температуры в тушки. Установлено, что при использовании снегообразного диоксида углерода методом введения во внутреннюю полость тушки карпа происходит снижение расхода диоксида углерода.

Ключевые слова: рыба, диоксид углерода, сублимация, температурное поле, плотность теплового потока, теплопроводность, температура, изотермы, теплота, карп.

Cooling of fish with snowlike carbon dioxide

Ph. D. **E. N. NEVEROV**
neverov42@mail.ru
Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47 Stroiteley Boulevard, 650056 Kemerovo, Russia

Researches of nature of change of temperature field and heat flow density are conducted when cooling fish (carp). The time of fish cooling, carbon dioxide consumption, fish carcass optimum sizes allowing introducing an amount of snowlike carbon dioxide into internal cavity of fish are analyzed also. Temperature field changes and heat removal kinetics in this process are investigated. Time of fish cooling, consumption of carbon dioxide with various masses of a trade carp and the optimum sizes of fish carcass allowing introducing a certain amount of snowlike carbon dioxide, sufficient for normalized temperature inside the carcasses to be achieved, into an internal cavity have been determined. It has been found out that when using snowlike carbon dioxide by an introduction into an internal cavity of a carp carcass there has been a decrease in carbon dioxide consumption.

Keywords: fish, carbon dioxide, sublimation, temperature field, density of a thermal stream, heat conductivity, temperature, isotherms, warmth, carp.

Охлажденная рыба в последние годы все больше и больше входит в рацион питания россиян, благодаря тому, что население страны стало задумываться, не только о цене продукта, но и о его качестве, о его влиянии на организм.

Рыба помимо высоких вкусовых качеств содержит большое количество белков, включающих все необходимые аминокислоты. Жир рыб обладает ценными ненасыщенными жирными кислотами и содержит значительное количество витаминов А и D. Из минеральных веществ в рыбе преобладают натрий, кальций, фосфор, сера, железо. Наряду с макроэлементами в мускулах рыбы содержатся разнообразные микроэлементы, такие как: медь, йод, цинк, мышьяк и др. [1–3]

При проведении мониторинга в торговой сети Сибирского региона выявлена тенденция к увеличению потребления охлажденной рыбы недорогих сортов (карпа, толстолобика, и т. д.), выловленных в местных водоемах. При этом поставщики и продавцы охлажденной рыбы сталкиваются при ее реализации с рядом проблем, основной из которых является очень маленький срок хранения охлажденной рыбы при использовании традиционных методов холодильной обработки [2].

Нами предложена холодильная технология, основанная на использовании эффекта сублимации — перехода твердого диоксида углерода (CO_2) в газообразное состояние при температуре минус 78 °С. Принцип данной холодильной технологии заключается в введении снегообразного диоксида углерода во внутреннюю полость рыбы [4, 5].

Разработана технологическая линия для холодильной обработки рыбы в среде диоксида углерода, принцип работы которой состоит в удалении голов и внутренностей, подаче во внутреннюю полость рыбы снегообразного диоксида углерода, при необходимости упаковки и отправке на реализацию [6, 7].

С целью практической реализации данной технологической линии, были проведены исследования по внесению снегообразного CO2 во внутреннюю полость рыбы. Основной задачей данных исследований стало определение характера изменения температурного поля и плотности теплового потока при охлаждении рыбы, времени охлаждения рыбы, расхода диоксида углерода, а также определение оптимальных размеров тушки рыбы, позволяющих вводить во внутреннюю полость рыбы определенное количество снегообразного диоксида углерода, достаточное для достижения нормируемой температуры в тушки рыбы.

Рыбу (карпа) помещали на технологическую линию. В аппарате, входящем в нее, происходило удаление голов и внутренностей. Снегообразный CO_2, подавался во внутреннюю полость карпа массой от 0,69 до 3,46 кг через генератор-дозатор. Затем рыбу, с заполненной внутренней полостью снегообразным диоксидом углерода, укладывали в полимерные ящики, часть которых направляли в теплоизолированную камеру с температурой 20±2 °С, а часть с температурой в камере 10±2 °С.

В процессе охлаждения температура тушки карпа измерялась с помощью хромель-копелевых термопар, подключенных к контроллеру температуры ТРМ-138. Плотность теплового потока контролировали с помощью двух датчиков-тепломеров, подключенных к измерителю плотности теплового потока ИПП-2, и установленных на внутренней полости рыбы сверху и снизу.

В первой серии экспериментов был использован промысловый карп, массой от 0,69 до 2,65 кг, во внутреннюю полость которого подавали снегообразный CO_2 и после чего, помещали в полимерные ящики, которые затем размещали в теплоизолированной камере с температурой 20 °С.

На рис. 1 показана термограмма процесса охлаждения карпа массой 0,69 кг при температуре в камере 20±2 °С. Во внутреннюю полость рыбы данной массы можно поместить до 0,064 кг снегообразного диоксида углерода, при этом соотношении происходит подмораживание тушки карпа до температуры –2 °С.

Время сублимации CO_2, а соответственно и охлаждения составило 75 мин. Кроме того, процесс охлаждения внутреннего слоя мяса происходит довольно интенсивно до достижения криоскопической тепературы, 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 CO_2, находящегося во внутренней полости рыбы, уже сублимировала и между костным скелетом тушки и хладагентом образовалась газовая подушка, создающая термическое сопротивление теплоотдаче. Процесс охлаждения нижнего слоя происходит более интенсивно, так как снег CO_2 на протяжении всего процесса находится в непосредственном контакте с ним. На окончание процесса сублимации снегообразного диоксида углерода расположенного во внутренней полости указывает выравнивание температур, а наружного слоя даже небольшое повышение.

На рис. 2 показан график плотности теплового потока от карпа массой 0,69 кг. На графике видно, что в первоначальный момент времени наблюдается резкое увеличение плотности теплового потока до максимального значения. Это связанно с тем, что в первоначальный момент времени разница температур между тушкой и диоксидом углерода максимальна, и процесс теплоотвода наиболее интенсивен. После чего происходит процесс равномерного снижения температуры в тушке рыбы и соответственно теплового потока.

Плотность теплового потока нижнего слоя выше теплового потока верхнего слоя, это связано с тем, что на протяжении всего эксперимента снег находится в непосредственном контакте с тушкой, а над верхним слоем и снегом CO_2 образуется воздушно-газовая прослойка, которая значительно снижает плотность теплового потока. Максимальное значение плотности теплового потока от верхних слоев составляет 3069 Вт/м^2, от нижних слоев — 3010 Вт/м^2, а среднеинтегральные значения соответственно составляют 900 Вт/м^2 и 1100 Вт/м^2.

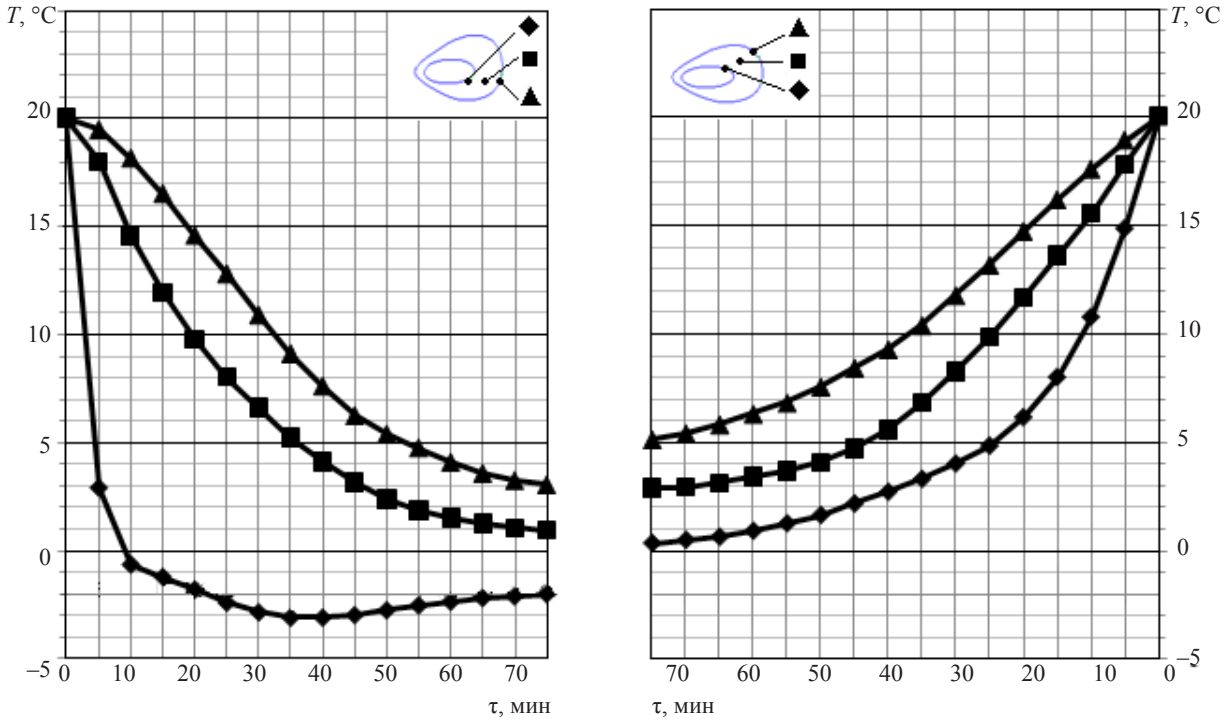


Рис. 1. Термограмма процесса охлаждения карпа массой 0,69 кг снегообразным CO_2, расположенным во внутренней полости, при температуре окружающей среды 20±2 °С

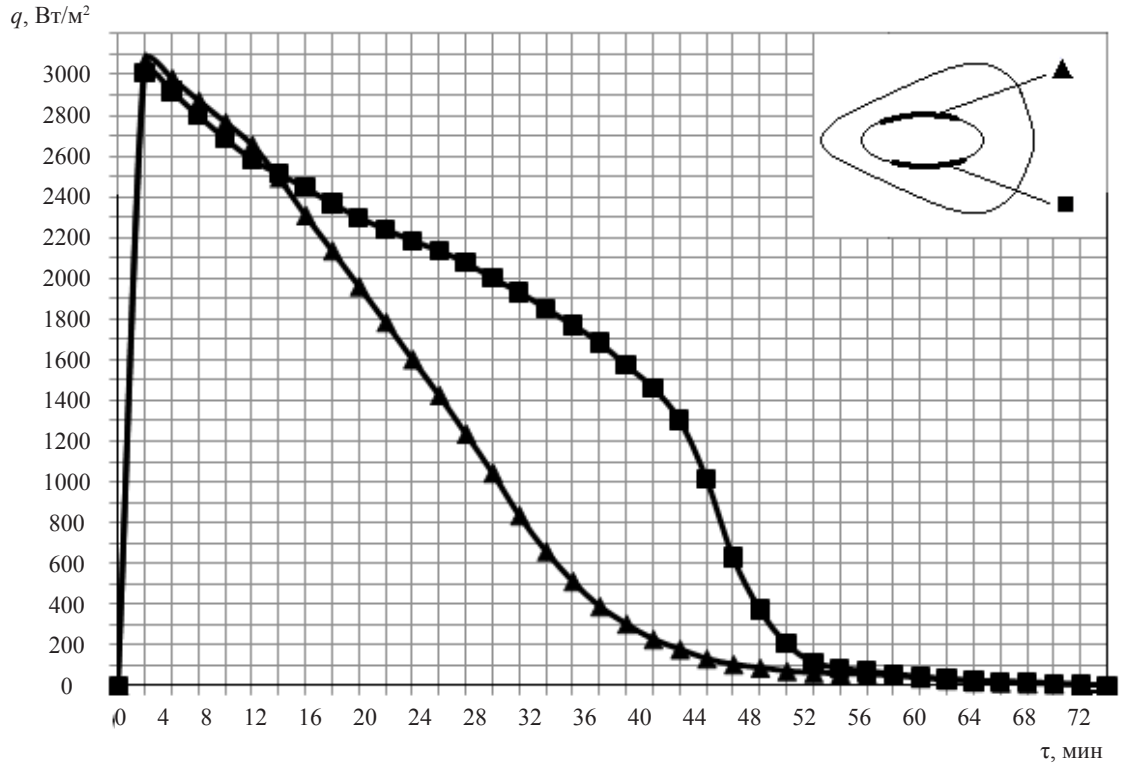


Рис. 2. Плотность теплового потока от тушки карпа массой 0,69 кг, при охлаждении снегообразным CO_2, расположенным во внутренней полости, при температуре окружающей среды 20±2 ºС

Максимальное значение коэффициента теплоотдачи от верхних слоев составляет 31,16 Вт/(м²·К), от нижних слоев 31,06 Вт/(м²·К), при этом среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи составляет соответственно 10,3 Вт/(м²·К) и 11,4 Вт/(м²·К).

Дальнейшие эксперименты были проведены с рыбой массой до 2,65 кг при температуре в камере 20±2 ºС, результаты представлены в табл. 1.

Проанализировав данные табл. 1 можно сделать вывод, что при массе карпа от 0,69 до 1,10 кг, при температуре в камере 20ºС, количества снегообразного диоксида углерода помещенного во внутреннюю полость рыбы достаточно для достижения нормируемой температуры [8].

Таблица 1

Рекомендованные параметры при охлаждении промыслового карпа с введением снегообразного CO_2 во внутреннюю полость и температуре 20±2 ºС

Наименование рыбы	Масса рыбы, кг	Масса CO_2, кг	Время холодильной обработки, мин	Температура окружающей среды, ºС	Достигаемая среднеобъемная температура, ºС
Карп	0,69	0,064	75	20±2	1
Карп	1,06	0,074	85	20±2	2
Карп	1,10	0,079	90	20±2	3,8
Карп	1,36	0,92	95	20±2	6
Карп	2,65	0,17	110	20±2	7,4

При этом с увеличением массы карпа от 1,1 кг и выше, объема снегообразного диоксида углерода, подаваемого во внутреннюю полость рыбы, недостаточно. Поэтому для достижения нормируемой температуры в тушке карпа необходимо снижать температуру в камере газообразным CO_2.

С целью достижения нормируемой температуры в тушке карпа массой более 1,1 кг была проведена следующая группа экспериментов с подачей снегообразного CO_2 во внутреннюю полость карпа и температуре воздушно-газовой среды в камере 10±2 ºС, масса карпа от 1,27 до 3,46 кг.

На рис. 3 показана термограмма процесса охлаждения карпа массой 1,27 кг. Время охлаждения составило 100 мин и расход снегообразного CO_2 составил 0,086 кг. Температура в конце процесса охлаждения составляет 1 ºС. Разность температур между верхним и нижним слоем тушки при охлаждении равна около 3,5 ºС.

Длительность сублимации диоксида углерода в данном случае увеличилась, время контакта CO_2 с тушкой рыбы соответственно тоже, за счет более низкой температуры воздушно-газовой среды в камере. В результате этого была достигнута нормируемая температура в тушки карпа.

На рис. 4 показан график плотности теплового потока от карпа массой 1,268 кг, из которого видно, что на первоначальном этапе времени плотность теплового потока достигает максимального значения, от верхних слоев составляет 3495 Вт/м², а от нижних слоев 3412 Вт/м², это

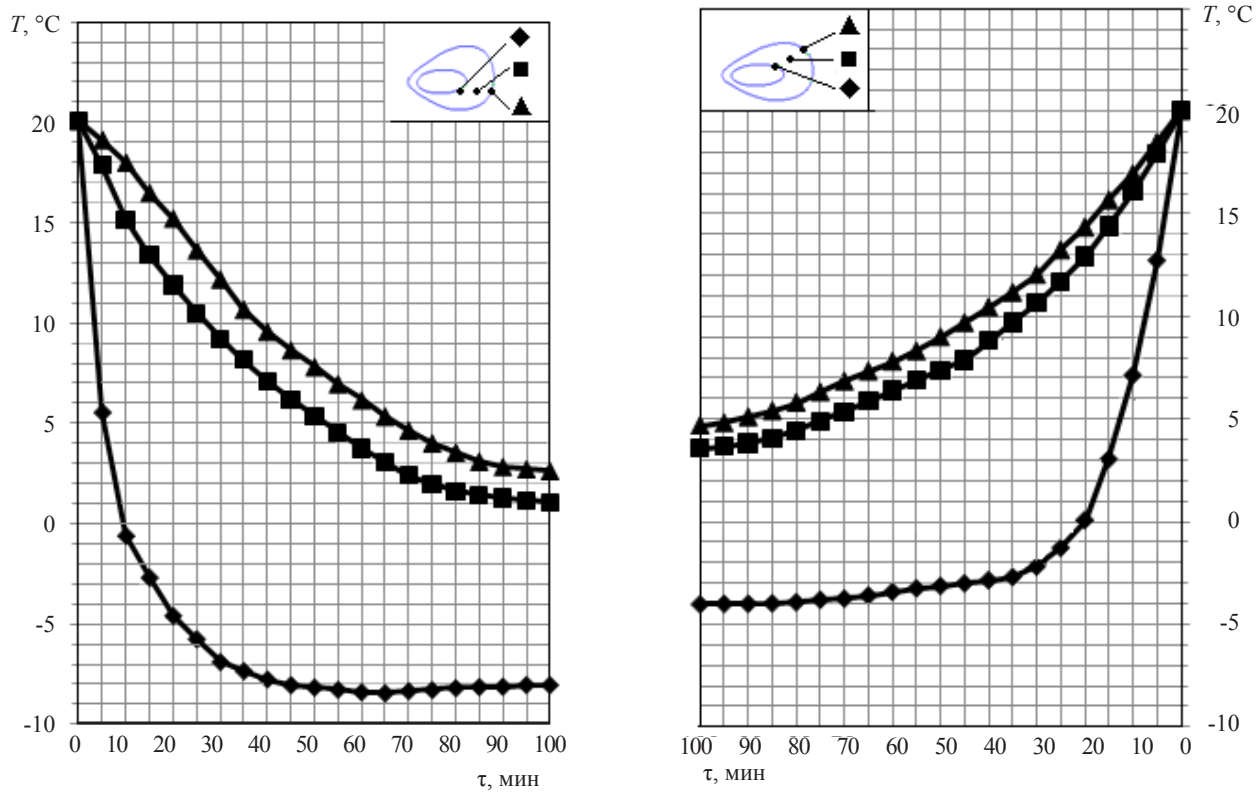


Рис. 3. Термограмма процесса охлаждения карпа массой 1,27 кг, снегообразным CO_2, расположенным во внутренней полости, при температуре окружающей среды 10±2 °С

немного выше чем в предыдущем эксперименте, связано с тем, что температура в камере была снижена, что привело к увеличению теплового потока от тушки рыбы и коэффициента теплоотдачи, соответственно от верхних слоев тушки 39,49 Вт/(м²·К), нижних слоев 38,55 Вт/(м²·К).

Следующая группа экспериментов была проведена с карпом массой до 3,46 кг при температуре в камере 10±2 °С, результаты представлены в табл. 2.

Проанализировав результаты табл. 2, можно сделать вывод, что нормируемая температура была достигнута

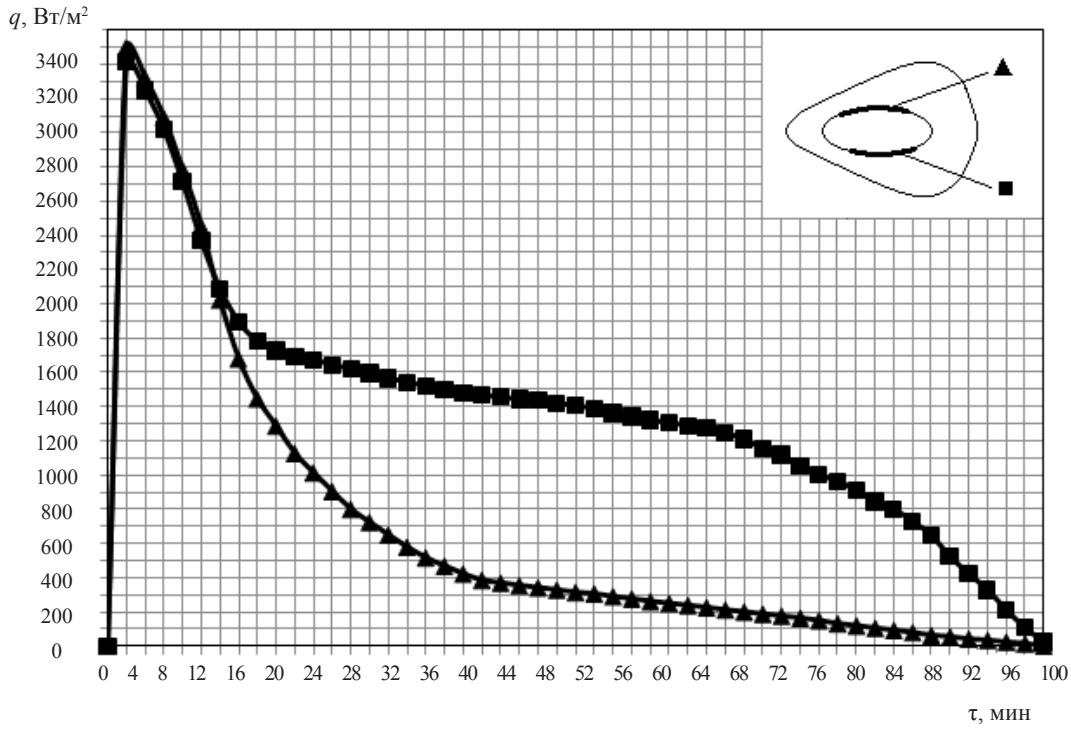


Рис. 4. Плотность теплового потока от тушки карпа массой 1,27 кг, при охлаждении снегообразным CO_2, расположенным во внутренней полости, при температуре окружающей среды 10±2 °С

Таблица 2

Рекомендованные параметры при охлаждении промыслового карпа с введением снегообразного CO_2 во внутреннюю полость и температуре 10±2 ºС

Наименование рыбы	Масса рыбы, кг	Масса снегообразного CO_2, кг	Масса газообразного CO_2, кг	Σ масса CO_2, кг	Время холодильной обработки, мин	Температура окружающей среды, ºС	Достигаемая среднеобъемная температура, ºС
Карп	1,27	0,086	2,57	2,65	100	10±2	1
Карп	1,45	0,100	2,95	3,05	115	10±2	1
Карп	2,99	0,282	6,10	6,38	145	10±2	1
Карп	3,24	0,306	6,61	6,91	170	10±2	1
Карп	3,46	0,326	7,05	7,37	195	10±2	1

у образцов массой от 1,27 до 3,46 кг. При температуре в камере 10±2 ºС, количества снегообразного диоксида углерода помещенного во внутреннюю полость карпа массой до 3,46 кг достаточно для достижения нормируемой температуры.

Таким образом, при использовании снегообразного диоксида углерода методом введения во внутреннюю полость тушки рыбы позволяет уменьшить расход диоксида углерода, т. к. находясь в замкнутом пространстве, он сублимирует и забирает теплоту только от рыбы, а при расположении на наружной поверхности и от окружающей среды, что значительно снижает эффективность его применения.

Список литературы

1. *Иванова Е. Е.* Технология морепродуктов: Учебник/Е. Е. Иванова, Г. И. Касьянов, С. П. Запорожская. — М.: КолосС, 2010. 183 с.
2. *Киселева Т. Ф.* Изменение качества охлажденной рыбы в процессе хранения/Е. Н. Неверов; И. В. Мозжерина // Ползуновский вестник. 2011. № 3/2. С. 197–202.
3. *Неверов Е. Н.* Research of fish freezing processin carbon dioxide device/Е. Н. Неверов; Э. Б. Полещук // Наука и образование в жизни современного общества: Сб. материалов Международной научно-практической конференции. — Тамбов, 2012. С 7–9.
4. *Неверов Е. Н.* Применение диоксида углерода для холодильной обработки рыбы // Пищевые технологии и биотехнологии: Сб. матер. XI Международной конференции молодых ученых. — Казань, 2010. С. 150–152.
5. *Неверов Е. Н.* Применение диоксида углерода для холодильной обработки птицы и рыбы/Е. Н. Неверов; О. Н. Буянов // Монография. — Кемерово: КемТИПП, 2013. 191 с.
6. *Буянов О. Н.* Исследование процесса охлаждения упакованной рыбы в среде диоксида углерода/О. Н. Буянов, Е. Н. Неверов, С. Н. Нечаев // Вестник Международной академии холода. 2011. № 4. С. 39–42.
7. Линия для холодильной обработки рыбы диоксидом углерода. Буянов О. Н; Неверов Е. Н. Патент РФ № 2479803. Опубл. 20.04.2013, Заявка № 2011154322.
8. ГОСТ Р53847–2010. Рыба мелкая охлажденная. Технические условия. Технические условия. — Москва: Изд-во Стандартинформ, 2010.

References

1. Ivanova E. E. Tehnologija moreproduktov: Uchebnik/ E. E. Ivanova, G. I. Kas'janov, S. P. Zaporozhskaja. — M.: KolosS, 2010. 183 p.
2. Kiseleva T. F., Neverov E. N.; Mozzherina I. V. *Polzunovskij vestnik.* 2011. № 3/2. p. 197–202.
3. Neverov E. N. Research of fish freezing processin carbon dioxide device/E. N. Neverov; Je. B. Poleshhuk // Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshhestva: Sb. materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. — Tambov, 2012. p 7–9.
4. Neverov E. N. Primenenie dioksida ugleroda dlja holodil'noj ob-rabotki ryby // Pishhevye tehnologii i biotehnologii: Sb. mater. XI Mezhdunarodnoj konferencii molodyh uchenyh. — Kazan', 2010.p. 150–152.
5. Neverov E. N. Primenenie dioksida ugleroda dlja holodil'noj ob-rabotki pticy i ryby/E. N. Neverov; O. N. Bujanov // Monografija. — Kemerovo: KemTIPP, 2013. 191 p.
6. Bujanov O. N., Neverov E. N., Nechaev S. N. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda.* 2011. № 4. p. 39–42.
7. Linija dlja holodil'noj obrabotki ryby dioksidom ugleroda. Bujanov O. N; Neverov E. N. Patent RF № 2479803. Opubl. 20.04.2013, Zajavka № 2011154322.
8. GOST R53847–2010. Ryba melkaja ohlazhdennaja. Tehnicheskie uslovija. Tehnicheskie uslovija. — Moskva: Izd-vo Standartinform, 2010.