

УДК 641.664.8.037.5

Исследование режимов работы криогенного аппарата для замораживания рыбы

Д-р техн. наук О. Н. БУЯНОВ, канд. техн. наук Е. Н. НЕВЕРОВ,
И. С. ПЕТРОВ

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности
650056, г. Кемерово, бульвар Строителей, 47

The design of the device for the freezing of fish working on a dioxide of carbon is resulted. On freezing of fish researches are conducted in it in which result, character of change of a temperature field and process of a heat-conducting path are received, at freezing of carcasses of fish by a dioxide of carbon with temperatures in the device -30°C , -50°C and -70°C . Values of density of a thermal stream and factor of a heat-conducting path are defined at these temperatures in the device. It is established that decrease in temperature in the device at freezing of fish, allows to reduce duration of freezing and to lower a difference in rate of decrease in temperature, the top and bottom layers of fish, but thus the consumption of dioxide of carbon increases.

Keywords: fish, a carbon dioxide, sublimation, a temperature field, heat conductivity, temperature, isotherms.

Ключевые слова: рыба, диоксид углерода, сублимация, температурное поле, теплопроводность, температура, изотермы.

В 90-е годы в России была отмечена устойчивая тенденция к падению объемов добычи и потребления морепродуктов. Рыбный промысел в открытых районах мирового океана сократился за этот период почти в 10 раз. Объем производства в целом за это время уменьшился почти в 3 раза. Однако в последние годы ситуация стала улучшаться, человечество стало уделять больше внимания своему здоровью. Поэтому увеличился спрос на производство рыбы как в охлажденном, так и замороженном состоянии.

С точки зрения пищевой ценности мясо рыбы не уступает мясу теплокровных животных, а в некоторых параметрах и превосходит его. Рыба служит источником полноценного легкоусвояемого белка, обладает высокой пищевой ценностью за счет содержания незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот, микроэлементов, а также отличается низким содержанием соединительной ткани и выраженным липотропным действием [1].

Длительный срок хранения замороженной рыбы дает большое преимущество над охлажденной, что в свою очередь приводит к более широкому распространению замороженной рыбы на рынке.

Требования, предъявляемые к замороженной рыбе, изложены в ряде мировых стандартов. Одним из обязательных требований является то, что температура рыбы по хребту в результате заморозки должна составлять -18°C ; малейшее отклонение в температуре свидетельствует о нарушении технологии.

С целью достижения данного требования возникает необходимость в использовании способов криогенного замораживания. Широкое применение криогенного способа относится к экспортной рыбе. В России пока производители замороженной рыбы не решаются на приобретение линий

криогенной заморозки, т.к. они являются дорогостоящими [2].

Для снижения затрат на замораживание и при этом поддержание мировых стандартов к рыбе, наиболее перспективным является применение диоксида углерода для контактного замораживания рыбы.

Для проведения исследований в этом направлении был разработан скороморозильный аппарат, работающий на диоксиде углерода для замораживания рыбы рис. 1.

Аппарат состоит из неподвижного изолированного корпуса 1, внутренняя обшивка которого изготовлена из листовой нержавеющей стали, а наружная — из листового алюминия. Между обшивками уложена теплоизоляция. В верхней и нижней части корпуса аппарата имеется окно для загрузки 2 и окно 3 для разгрузки продукта. В изолированном корпусе находится вертикальный винтовой конвейер 4. Для того, чтобы исключить примерзание продуктов к поверхности винтового конвейера, он покрыт слоем нифлона. Винтовой конвейер приводится во вращательное движение при помощи многоскоростного двигателя 5 посредством ременной передачи 6. Частота вращения шнека зависит от массы продукта и конечной температуры, до которой необходимо производить замораживание. По всей длине изолированного корпуса с четырех сторон аппарата расположены форсунки 7, изготовленные из нержавеющей стали и соединенные между собой трубопроводом 8, по которому поступает жидкий диоксид углерода, преобразующийся в них из жидкости в две фазы: твердую и газообразную. Для ограничения рабочей полости по наружному диаметру винтового конвейера в корпусе аппарата установлена цилиндрическая перфорированная решетка 9. Для загрузки и разгрузки аппарата предусмотрен загрузочный 10 и разгрузочный 11 конвейеры.

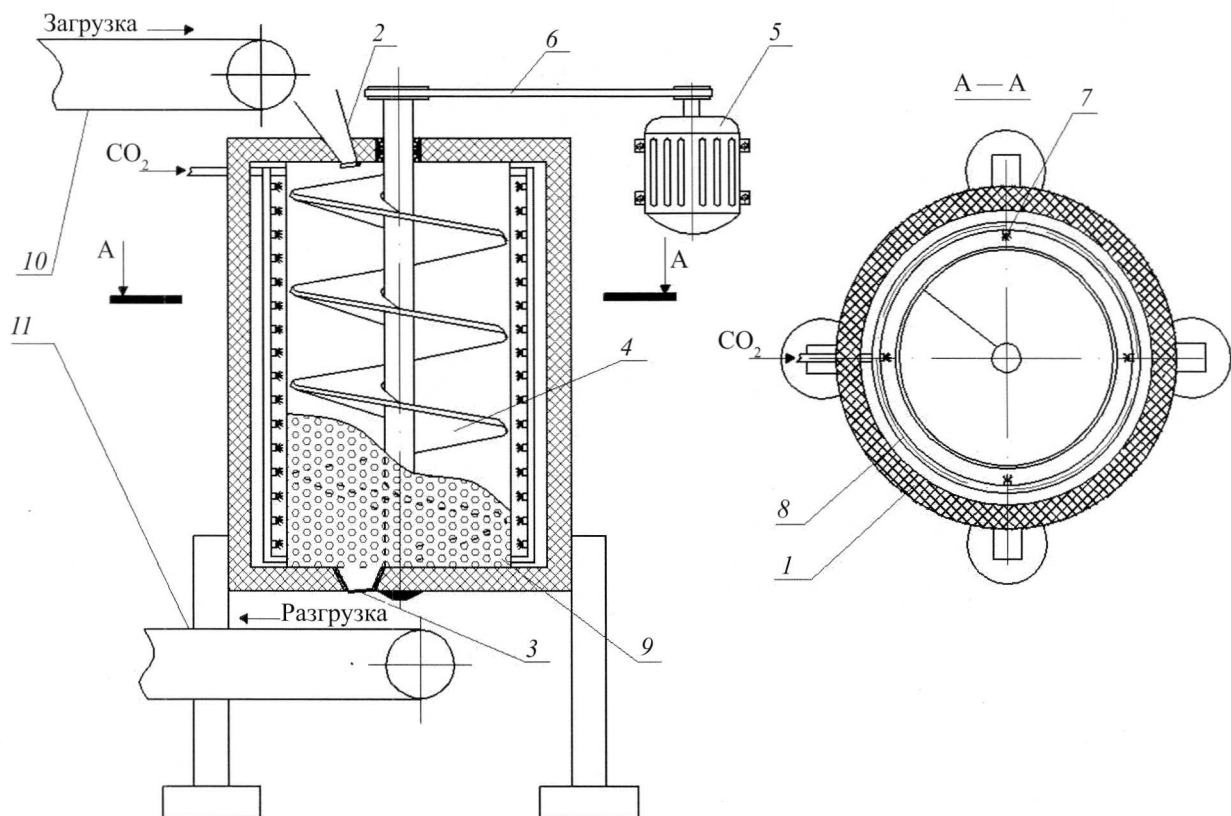


Рис. 1. Схема криогенного аппарата для замораживания рыбы: 1— изолированный корпус;

2, 3 — окна для загрузки и разгрузки рыбы; 4 — винтовой конвейер; 5 — многоскоростной двигатель; 6 — ременная передача; 7 — форсунки; 8 — трубопровод; 9 — цилиндрическая перфорированная решетка; 10, 11 — загрузочный и разгрузочный конвейеры

Продукт поступает в аппарат по загрузочному конвейеру 10 и через загрузочное окно 2 попадает на винтовой конвейер 4, который вращаясь, перемещает замораживаемый продукт в рабочей полости, ограниченной перфорированной решеткой 9. Транспортируемый продукт орошается диоксидом углерода, впрыскиваемым в аппарат через ряд форсунок 7, соединенных между собой трубопроводом 8, по которому поступает жидкий CO_2 . Замороженный продукт через окно разгрузки 3 попадает на разгрузочный конвейер 11.

В целях реализации разработанного аппарата в рыбоперерабатывающей промышленности, нами проведены исследования по замораживанию рыбы в нем. Основной задачей экспериментов являлось установление характера изменения температурного поля, отличие температурного поля между верхней и нижней частью тушки рыбы, а также отличие времени замораживания и расхода диоксида углерода при замораживании рыбы с различными температурами в аппарате.

Исследования проводились с рыбой семейства карповых (карпом), массой $0,6 \pm 0,050$ кг, по степени упитанности относящейся ко второй группе.

Измерения температурного поля рыбы производили при помощи хромель-копелевых термопар, подключенных к измерительному комплексу. Параллельно проводились измерения плотности теплового потока, с наружной поверхности тушки рыбы, при помощи измерителя плотности тепло-

вого потока ИПП-2.

Во время исследований была проведена серия экспериментов при различных температурах в аппарате: первые при температуре -30°C ; последующие при -50°C и -70°C .

Схема расположения термопар и термограмма процесса замораживания тушки рыбы при температуре в аппарате -30°C показана на рис. 2.

Время замораживания рыбы в этом случае составило около 255 мин. Расход диоксида углерода составил 0,94 кг. Анализируя полученные изотермы можно сделать вывод, что процесс замораживания верхних и нижних слоев рыбы аналогичен.

На первом участке происходит довольно интенсивное охлаждение слоев рыбы до достижения криоскопической температуры, после чего начинается происходить фазовый переход воды в лед, что влечет за собой выделение скрытой теплоты кристаллизации и, как следствие, снижение темпа понижения температуры. Это приводит к тому, что центральная часть тушки охлаждается до криоскопической температуры задолго до того, как граница раздела фаз переместится к центру рыбы. На температурных изотермах центральных слоев (рис. 2), возникает почти горизонтальная площадка при температуре, близкой к криоскопической — второй участок. И на последнем участке изотермы показывают изменение температуры тушки после вымерзания основной части воды. Здесь снова ускоряется темп понижения температуры.

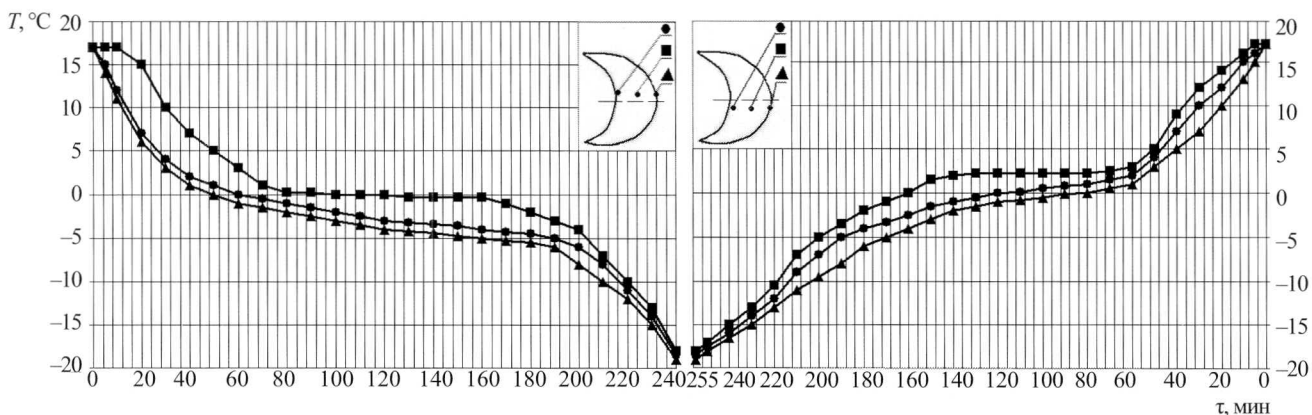


Рис. 2. Термограмма процесса замораживания рыбы CO_2 при температуре в аппарате -30°C

При рассмотрении термограммы зафиксировано, что замораживание наружного слоя тушки происходит интенсивнее, чем внутреннего. Это связано с тем, что в контакте с наружными слоями тушки рыбы находится газообразный диоксид углерода в большем объеме, чем с внутренней поверхности, т.к. наружная поверхность рыбы значительно превышает внутреннюю, что приводит к более интенсивной теплоотдаче от наружных слоев тушки.

Причиной менее интенсивного снижения температуры внутренних слоев рыбы является еще и температурный напор между температурой в аппарате и внутренней полостью рыбы -30°C и -20°C соответственно.

В экспериментах также зафиксированы различия в интенсивности падения температур верхних и нижних слоев. Это связано с тем, что верхняя часть рыбы находится в непосредственном контакте с газообразным диоксидом углерода, а нижняя лежит на поверхности шнека, который создает дополнительное термическое сопротивление отводу теплоты. При анализе кривых с верхней части тушки рыбы и нижней можно наблюдать неравномерность падения температуры (в пределах $3-4^\circ\text{C}$), что приводит к неравномерному теплоотводу и увеличению времени замораживания нижних слоев на 15 мин.

Кривая изменения плотности теплового потока от наружной поверхности (рис. 3) показывает, что максимальный теплоотвод происходит в первоначальный момент, т.к. разность температур максимальна и плотность теплового потока q составляет 930 Вт/м^2 . После этого происходит резкое падение плотности теплового потока, вызванное снижением температуры поверхности. Затем q стабилизируется и при достижении среднеобъемной температуры в тушки рыбы минус 18°C приближается к 50 Вт/м^2 . При этом среднеинтегральная величина плотности теплового потока составляет 131 Вт/м^2 .

Коэффициент теплоотдачи рассчитывали, используя экспериментально полученные значения плотности теплового потока по уравнению Ньютона.

Среднеинтегральная величина коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности при этом

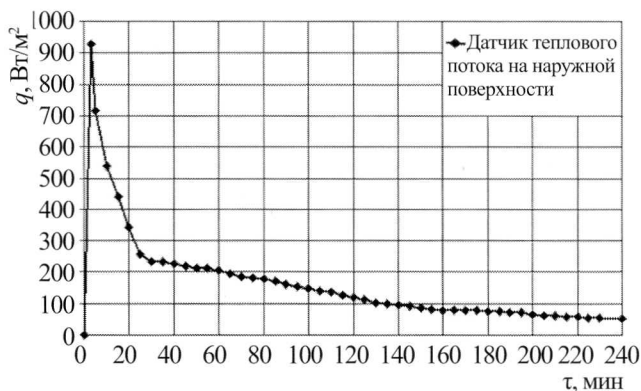


Рис. 3. Плотность теплового потока при замораживании рыбы с температурой в камере -30°C

составляет $4,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$.

Время замораживания рыбы с температурой в аппарате -50°C составило 175 мин (рис. 4). Расход диоксида углерода — $1,27 \text{ кг}$.

Анализируя полученные кривые можно сделать вывод, что более интенсивное падение температуры происходит от наружных слоев тушки, за счет отвода теплоты газообразным CO_2 . Наружные слои, в данном случае, подвержены замораживанию воздушно-газовой средой с более низкой температурой, в аппарате, за счет чего теплообмен происходит более интенсивно, а т.к. температурный напор между температурой в аппарате и внутренней полостью рыбы составляет -50°C и -32°C , что приводит к менее интенсивному снижению температуры внутренних слоев рыбы. Количество отведенной теплоты от рыбы в первоначальный момент и на всем промежутке времени холодильной обработки больше, в отличие от предыдущего эксперимента с температурой в аппарате -30°C .

Разность в снижении температуры верхних и нижних слоев тушки рыбы составила около 3°C , при этом произошло снижение времени замораживания верхних слоев на 15 мин.

Об этом также свидетельствует и кинетика теплоотвода (рис. 5). Среднеинтегральное значение плотности теплового потока от наружной поверхности равно 241 Вт/м^2 , а среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи равно $6,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$.

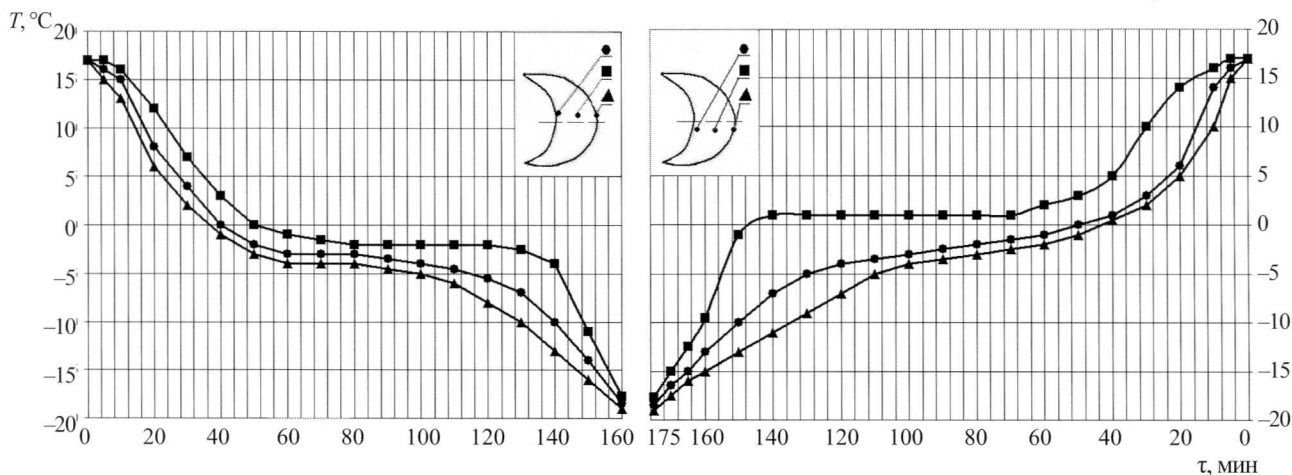


Рис. 4. Термограмма процесса замораживания рыбы CO_2 при температуре в аппарате -50°C

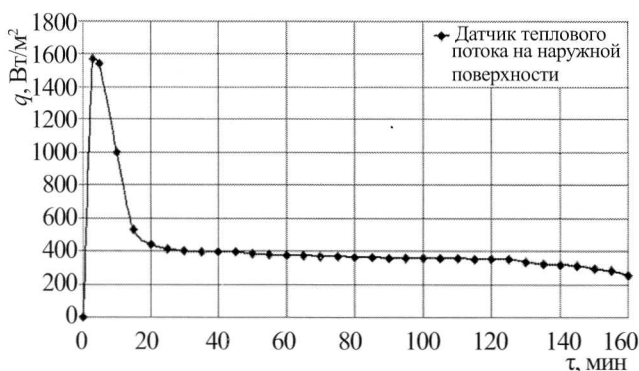


Рис. 5. Плотность теплового потока при замораживании рыбы с температурой в камере -50°C

Температура в аппарате, $^\circ\text{C}$	Время замораживания в аппарате, мин	Коэффициент корреляции диоксида углеродного аппарата	Расход диоксида углерода в аппарате, кг
-30	255	1,10	0,94
-35	235	1,25	1,00
-40	215	1,41	1,10
-45	195	1,56	1,19
-50	175	1,72	1,27
-55	161	2,00	1,40
-60	147	2,26	1,53
-65	133	2,53	1,66
-70	120	2,80	1,79

С дальнейшим снижением температуры в аппарате тенденция к уменьшению времени замораживания рыбы сохранялась. Так, было установлено, что при температуре в аппарате -70°C время замораживания составляет 120 мин. Расход диоксида углерода достигал 1,79 кг. Температурный напор между температурой в аппарате и внутренней полостью рыбы -70°C и -39°C соответственно.

Температура в тушке рыбы при замораживании составляет -39°C .

Разность в снижении температуры верхних и нижних слоев тушки рыбы составила около 2°C , при этом время замораживания нижних и верхних слоев было одинаковым.

Значение максимальной плотности теплового потока от наружной поверхности составляет 1920 Вт/м^2 , а среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности $11,2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$.

На основании полученных экспериментальных данных была составлена таблица, которая позволяет определять расход диоксида углерода с учетом коэффициента корреляции ($K_{\text{кор}}$), время замораживания до среднеобъемной температуры -18°C при температуре в аппарате от -30 до -70°C .

Таким образом, понижение температуры в аппарате при замораживании рыбы, позволяет сократить продолжительность процесса замораживания, снизить разницу в темпе понижения температуры верхних и нижних слоев рыбы. Однако при этом расход диоксида углерода увеличивается. Поэтому для эффективной эксплуатации аппарата, работающего на диоксиде углерода необходимо учитывать эту динамику.

Предлагаемый скороморозильный аппарат при условии выбора оптимальных условий работы, обеспечивает эффективное применение криоагента, равномерное и интенсивное замораживание. Аппарат компактен, конструкция его проста и удобна в эксплуатации.

Список литературы

1. Коноваленко Е. С. Рыба в детском питании/Е. С. Коноваленко, Л. С. Абрамова // Рыбная промышленность. 2004. № 1.
2. Соловьев Ю. В. Состояние и перспективы создания отечественной техники переработки гидробионтов/Ю. В. Соловьев, С. А. Бирин, Н. А. Щедрина // Рыбная промышленность. 2004. № 3.