

УДК 641.664.8.037.5

Исследование режимов работы углекислотной установки для охлаждения рыбы на рыбодобывающих судах

Д-р техн. наук **О. Н. БУЯНОВ**, канд. техн. наук **Е. Н. НЕВЕРОВ**
 Кемеровский технологический институт пищевой промышленности
 650056, г. Кемерово, бульвар Строителей, 47

The scheme of uglekislotny installation for cooling of fish on rybodobyvayushchy vessels is provided. Results of researches on cooling of fish in installation as a result of which are presented, changes of a temperature field and heat-conducting path kinetics are received, when cooling carcasses of fish by carbon dioxide with temperatures in installation -30 , -50 , -70 °C. Values of density of a thermal stream and factor of heatreturn are defined at these temperatures in installation. The nomogram which allows to define amount of dioxide of carbon necessary for cooling of fish is presented. It is established that decrease in temperature in installation when cooling fish, allows to reduce duration of cooling, but thus a consumption of dioxide of carbon increases.

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

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

Для сохранения и доставки улова, а также рыбопродукции конечному потребителю без существенной потери качества на всех этапах необходимо применение холода. Более 70% холодильных мощностей рыбопромышленной отрасли России сосредоточено на рыбопромысловых судах. В период путины, с момента вылова рыбы и до ее сдачи на береговые стационарные холодильники, судовые холодильные установки используются на пределе возможностей.

При проведении анализа отечественных береговых рыбоперерабатывающих предприятий и рыбопромысловых судов можно сделать вывод, что на них преобладают традиционные технологии и ручной труд, некоторые из них морально и физически уже устарели, не всегда обеспечивают требуемые санитарные и качественные нормы, как сырья так и готовой продукции.

Объясняется это отчасти недостатком у владельцев средств на модернизацию технологического комплекса, но в большей степени — отсутствием современного недорогого оборудования отечественного производства.

Кроме того, в соответствии с решением Монреальского и Киотского протоколов по проблеме защиты окружающей среды прекращено производство традиционно используемых флотом рыбной промышленности хладагентов R12, R502, а с 2020 г. будет прекращено использование R22, широко применяемого в установках [1].

В связи с этим возникает необходимость в разработке технологий, отвечающих современным требованиям. В последние годы в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание 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 диоксида углерода. Принцип данного способа холодильной обработки заклю-

чается в нанесении диоксида углерода на поверхность рыбы, расположенной на конвейере.

С целью реализации данного способа на рыбодобывающих судах, авторами разработана углекислотная установка для охлаждения рыбы, схема которой приведена на рис. 1.

Принцип работы данной установки заключается в следующем. Выловленную рыбу, поднимают на борт и выгружают в бункер, после чего рыба по напорному шлангу 5 подается в водоотделитель 6, а оттуда по наклонной решетке 9 в установку, закрытую кожухом 4. Здесь рыба размещается на перфорированном конвейере 8, а подаваемая совместно с рыбой вода выводится за борт судна

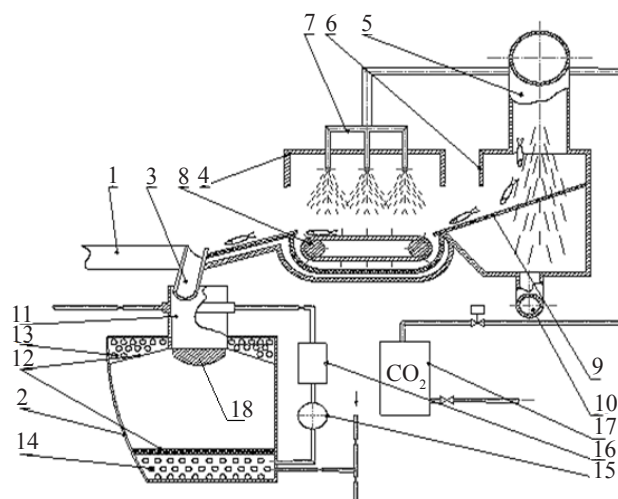


Рис. 1. Схема углекислотной установки для охлаждения рыбы:

- 1 — канал; 2 — резервуар для рыбы; 3 — трубопровод;
 4 — кожух установки; 5 — напорный шланг; 6 — водоотделитель; 7 — трубопровод с форсунками; 8 — перфорированный транспортер; 9 — решетка водоотделителя; 10 — патрубок; 11 — трубопровод; 12 — перфорированные вкладыши; 13, 14 — испарители; 15 — насос; 16 — охлаждающий блок; 17 — емкость с CO_2 ; 18 — втулочная заглушка.

по трубопроводу через патрубок 10. Охлаждение рыбы производится диоксидом углерода, подаваемым по трубопроводу 7, на конце которого установлены форсунки. В них жидкий диоксид углерода дросселируется и подается в камеру. Далее рыба по транспортеру 8 подается в канал 1 и по перепускным трубопроводам 3 в резервуары 2. После загрузки рыбы в резервуар, он плотно закрывается втулочной заглушкой 18 и до выгрузки рыба хранится в этих резервуарах при температуре окружающей среды $-(1 \pm 2)^\circ\text{C}$. Поддержание температуры на этом уровне осуществляется по средствам испарителей 13 и 14.

Основной задачей экспериментов являлось установление характера изменения температурного поля, определение времени охлаждения рыбы, плотности теплового потока и расхода диоксида углерода при различных температурах в аппарате.

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 теплового потока ИПП-2.

Исследования проводились с рыбой семейства карповых (капмом), массой $1,1 \pm 0,050$ кг, по степени упитанности относящейся ко второй группе.

Во время исследований была проведена серия экспериментов при температурах в установке -30 , -50 и -70°C .

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

Время охлаждения рыбы составило 84 мин, при расходе диоксида углерода 0,365 кг.

Анализ полученной термограммы показывает, что процесс охлаждения наружного слоя тушки рыбы происходит довольно интенсивно, в связи с тем, что поверхность рыбы находится в непосредственном контакте с газообразным CO_2 до 70 мин, после чего интенсивность снижения температуры падает в связи с тем, что начинается процесс фазового перехода, при котором начинают образовываться кристаллы льда и происходит скрытое тепловыделение.

Охлаждение центральной части тушки происходит за счет теплопроводности через наружные слои, т.к. из рыбы не удалены внутренние органы. Про-

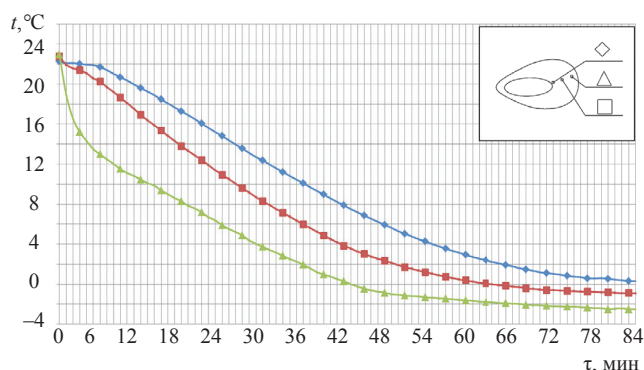


Рис. 2. Термограмма процесса охлаждения рыбы газообразным диоксидом углерода, при температуре окружающей среды $-30 \pm 2^\circ\text{C}$

цесс аналогичен охлаждению поверхностных слоев, но разница во времени составила 12 мин.

Охлаждение внутреннего слоя тушки рыбы происходит менее интенсивно, в связи с отсутствием контакта с диоксидом углерода, и объясняется теорией о распространении температурного поля от поверхности продукта к его центру [2, 3].

На рис. 3 показана диаграмма плотности теплового потока, от наружной поверхности тушки карпа при охлаждении газообразным CO_2 и температуре окружающей среды $-30 \pm 2^\circ\text{C}$.

Анализ экспериментальных данных показывает, что среднеинтегральное значение плотности теплового потока от наружной поверхности верхней части тушки составляет $q_{cp} = 198$ Вт/м², максимальное значение плотности теплового потока от верхней части тушки $q_{max} = 815$ Вт/м².

В первоначальный момент времени наблюдается увеличение плотности теплового потока до максимального значения с дальнейшим его падением. Это связано с тем, что в первоначальный момент времени разница температур между тушкой и диоксидом углерода максимальна. Затем происходит процесс равномерного снижения температуры в тушке и теплового потока до 75 мин. И в заключении процесс стабилизации температуры, связанный с кристаллообразованием в слоях рыбы. Среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи составило $\alpha_{cp} = 4,21$ Вт/(м² · К), а максимальное его значение $\alpha_{max} = 16,64$ Вт/(м² · К).

На рис. 4 изображена термограмма процесса охлаждения карпа газообразным CO_2 , при температуре -50°C . Время охлаждения рыбы составило 52 мин, при этом расход диоксида углерода составил 0,590 кг.

Изменения температурного поля тушки рыбы при температуре в аппарате -50°C происходит аналогично эксперименту с температурой -30°C . Отличие заключается в увеличении темпа снижения температуры во всех слоях тушки при охлаждении.

На рис. 5 показана диаграмма плотности теплового потока, на наружной поверхности тушки рыбы при охлаждении газообразным CO_2 , при температуре окружающей среды -50°C .

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что среднеинтегральное значение плотности теплового потока карпа от поверхности тушки составляет $q_{cp} = 456$ Вт/м², максимальное значение

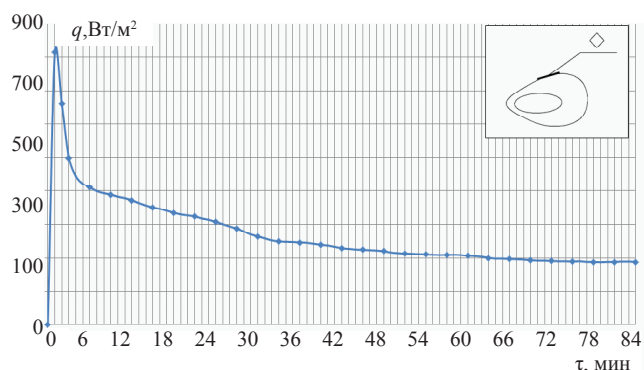


Рис. 3. Плотность теплового потока на наружной поверхности тушки карпа, при охлаждении газообразным диоксидом углерода, температура охлаждающей среды $-30 \pm 2^\circ\text{C}$

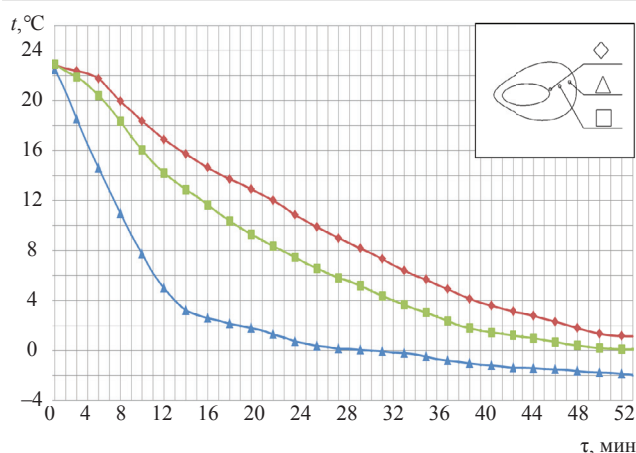


Рис. 4. Термограмма процесса охлаждения рыбы газодынным диоксидом углерода, при температуре окружающей среды $-50 \pm 2^\circ\text{C}$

плотности теплового потока поверхности тушки $q_{\max} = 1950 \text{ Вт/м}^2$.

Здесь плотность теплового потока на первых минутах эксперимента также максимальна, а в дальнейшем происходит продвижение температурного фронта внутрь тушки и плотность теплового потока снизится. Изменения происходят аналогично эксперименту с температурой окружающей среды $-30 \pm 2^\circ\text{C}$, однако значения плотности теплового потока здесь выше, что свидетельствует о более интенсивном теплоотводе от тушки.

В этом эксперименте среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{ср}} = 6,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$, а максимальное его значение составляет $\alpha_{\max} = 26,82 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$.

Следующая серия экспериментов проводилась при температуре в установке -70°C . Время охлаждения рыбы составило 40 мин, при этом расход диоксида углерода в установке увеличился до 0,820 кг.

Среднеинтегральное значение плотности теплового потока от тушки составляет $q_{\text{ср}} = 485 \text{ Вт/м}^2$, максимальное значение плотности теплового потока тушки $q_{\max} = 2400 \text{ Вт/м}^2$. При этом среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи составило $\alpha_{\text{ср}} = 8,12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$, а максимальное его значение — $\alpha_{\max} = 31,37 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$.

На рис. 6 представлена номограмма, которая позволяет определять количество газодынного диоксида углерода, необходимого для охлаждения рыбы до среднеобъемной температуры равной -1°C .

Номограмма имеет несколько основных осей: на оси ординат указана температура рыбы, на противоположной стороне номограммы температура охлаждающей среды. На оси абсцисс, нанесены значения, указывающие необходимую массу диоксида углерода, а на противоположной стороне указана температура, до которой охлаждается рыба. Также на поле номограммы показаны вспомогательные оси, на которых нанесены значения массы рыбы.

Рассмотрим принцип работы с номограммой. Для определения необходимого количества снегообразного CO_2 необходимо задаться следующими параметрами: температурой окружающей среды и массой рыбы (например -50°C и 1,1 кг). Находим на оси справа тем-

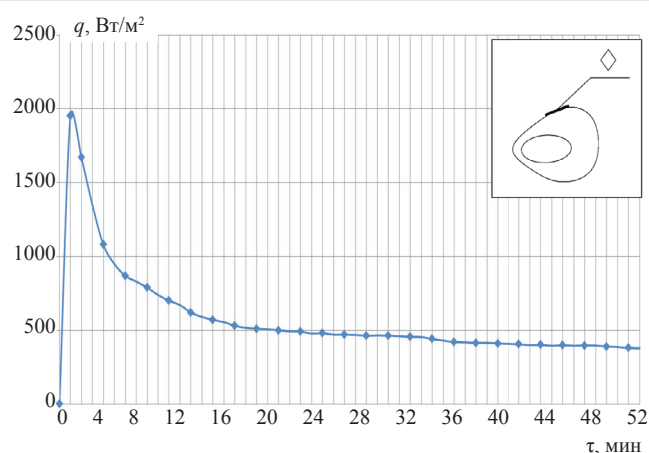


Рис. 5. Плотность теплового потока на наружной поверхности тушки карпа, при охлаждении газодынным диоксидом углерода, температура охлаждающей среды $-50 \pm 2^\circ\text{C}$

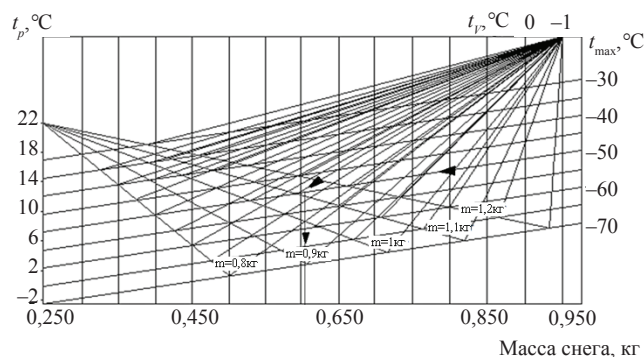


Рис. 6. Номограмма для определения массы диоксида углерода для охлаждения рыбы

пературу -50°C , по вспомогательным линиям проводим прямую до пересечения с прямой, на которой нанесено значение массы рыбы 1,1 кг, пересекаем ее с прямой охлаждения рыбы равной -1°C . Получаем точку и опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, на которой определяем массу диоксида углерода — 0,658 кг.

Таким образом, анализируя экспериментальные данные можно сделать вывод, что при снижении температуры в углекислотной установке происходит снижение времени охлаждения рыбы, но при этом увеличивается расход диоксида углерода, поэтому при выборе режима работы установки на это нужно обращать внимание.

Список литературы

1. Соловьев Ю. В. Состояние и перспективы создания отечественной техники переработки гидробионтов/Ю. В. Соловьев, С. А. Бирин, Н. А. Щедрина // Рыбная промышленность. 2004. № 3.
2. Чижов Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов: Учебник. — М.: Пищевая промышленность, 1979.
3. Буянов О. Н., Неверов Е. Н., Петров И. С. Исследование режимов работы криогенного аппарата для замораживания рыбы. // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4.