

УДК 621.56/59

Азотная система хладоснабжения с вихревой трубой для туннельного скороморозильного аппарата

Д-р техн. наук **К. П. ВЕНГЕР, И. Б. ЖИЛЬЦОВ, М. Г. НОСОВ,**
канд. техн. наук **О. А. ФЕСЬКОВ**

Московский государственный университет пищевых производств
125080, г. Москва, Волоколамское ш., 11

Received design parameters of vortex tubes and rational modes of its work to ensure the use of refrigeration capacity with liquid and its evaporation, gaseous nitrogen. Designed using Vortex tubes, quick-freezing tunnel construction and its chilling supply system nitric.

Keywords: vortical pipe, gas stream, hladosnabzheniye system.

Ключевые слова: вихревая труба, поток газа, система хладоснабжения.

Эффективность работы скороморозильного аппарата с проточной азотной системой хладоснабжения связана, в основном, с расходом криоагента.

Эксплуатация традиционных туннельных аппаратов возможна при расходе жидкого азота на 1 кг продукции порядка 1,5 кг и более [1].

Совершенствование и эффективность работы такого оборудования связана с решением проблемы газификации жидкого азота, обеспечивающей использование холодильного потенциала как жидкого, так и образующегося в результате его испарения газообразного азота. В этом плане перспективно использование вихревой трубы.

Вихревая труба обеспечивает расширение и разделение подаваемого газообразного азота на два потока — холодный и условно «горячий».

Схема проточной азотной системы с вихревой трубой показана на рис. 1.

Горячий поток с достаточно низкой температурой используется в 1-ой зоне туннельного скороморозильного аппарата для предварительного охлаждения продукции, а холодный поток (сжи-

женный азот) — во 2-ой зоне, для осуществления стадии замораживания продукции. При этом подаваемый в вихревую трубу поток предварительно будет газифицироваться в специальном теплообменнике, размещенном в 3-ей зоне аппарата, а вырабатываемый на этом этапе холод — для выравнивания температуры продукта по объему (стадия домораживания).

Выполнены исследования по определению основных параметров работы вихревой трубы [2, 3]: температурные эффекты охлаждения (Δt_x) и подогрева (Δt_r); температуры холодного (t_x) и «горячего» (t_r) потоков газа. Получены результаты расчета, с использованием разработанной методики, оценивающие степень влияния на данные параметры вихревой трубы следующих показателей в широком их интервале:

- доля холодного потока ($\mu = 0,1 \div 1,0$);
- температура подаваемого газа ($t_1 = -190; -180; -170^\circ\text{C}$);
- давление подаваемого газа ($P = 0,2; 0,35; 0,5; 0,75$ и $1,0$ МПа);
- размер сечения сопла ($9 \times 5; 8 \times 5; 9 \times 4$ и 8×4 мм).

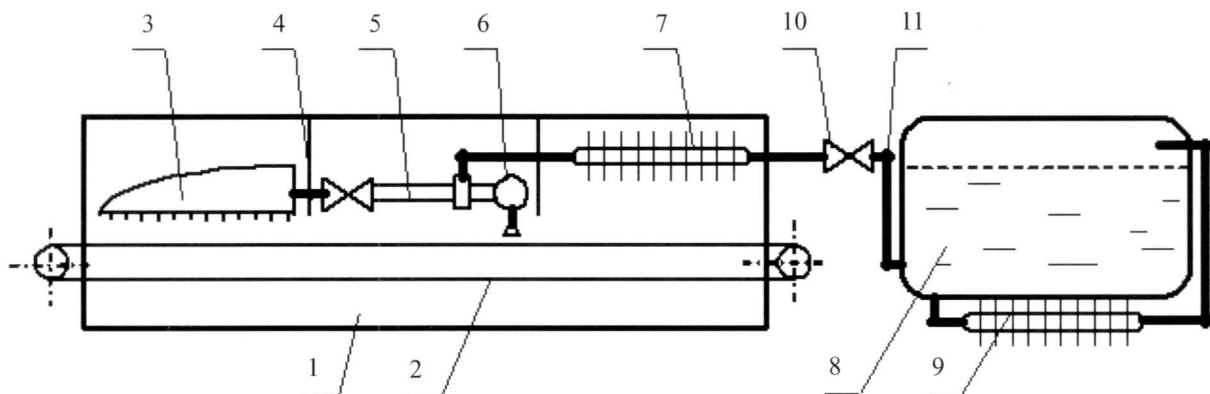


Рис. 1. Принципиальная схема азотной проточной системы хладоснабжения туннельного аппарата с вихревой трубой:

- 1 — скороморозильный аппарат; 2 — конвейер; 3 — газораспределительное устройство; 4 — дроссельный узел;
5 — вихревая труба; 6 — коллектор с форсунками; 7 — теплообменник; 8 — емкость с азотом; 9 — испаритель емкости;
10 — соленоидный вентиль; 11 — магистральный трубопровод

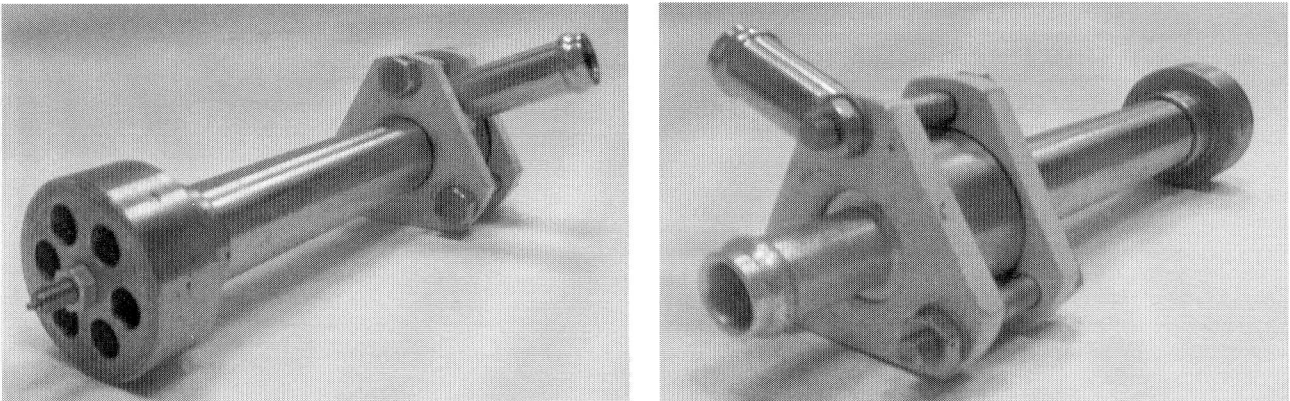


Рис. 2. Опытный образец вихревой трубы

Определены, по результатам выполненных исследований, конструктивные размеры вихревой трубы и рациональные режимы ее работы: температура ($t_1 = -190\text{ }^{\circ}\text{C}$) и давление ($P = 0,2\text{ МПа}$) подаваемого газообразного азота, размеры сечения сопла ($9\times4\text{ мм}$, площадь сечения $f_c = 36\text{ мм}^2$), доля холодного потока ($\mu = 0,2$).

Доказано, с использованием построенного в S, T — диаграмме цикла работы вихревой трубы при рациональных режимах работы, что ее применение позволяет получить сжиженный азот с температурой ($-96,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) на холодной стороне и газообразный на уровне ($-174\text{ }^{\circ}\text{C}$) — на «горячей» стороне трубы.

С использованием выполненных исследований разработана конструкция вихревой трубы и изготовлен опытный ее образец, показанный на рис. 2.

Опытный образец вихревой трубы использован в проведенных экспериментальных исследованиях, которые доказали адекватность рассчитанных параметров ее работы.

Разработана конструкция трехзонного туннельного скороморозильного аппарата с системой хладоснабжения на базе вихревой трубы, на которую получено положительное решение на выдачу патента РФ. На рис. 3 показана принципиальная схема аппарата и системы хладоснабжения, вклю-

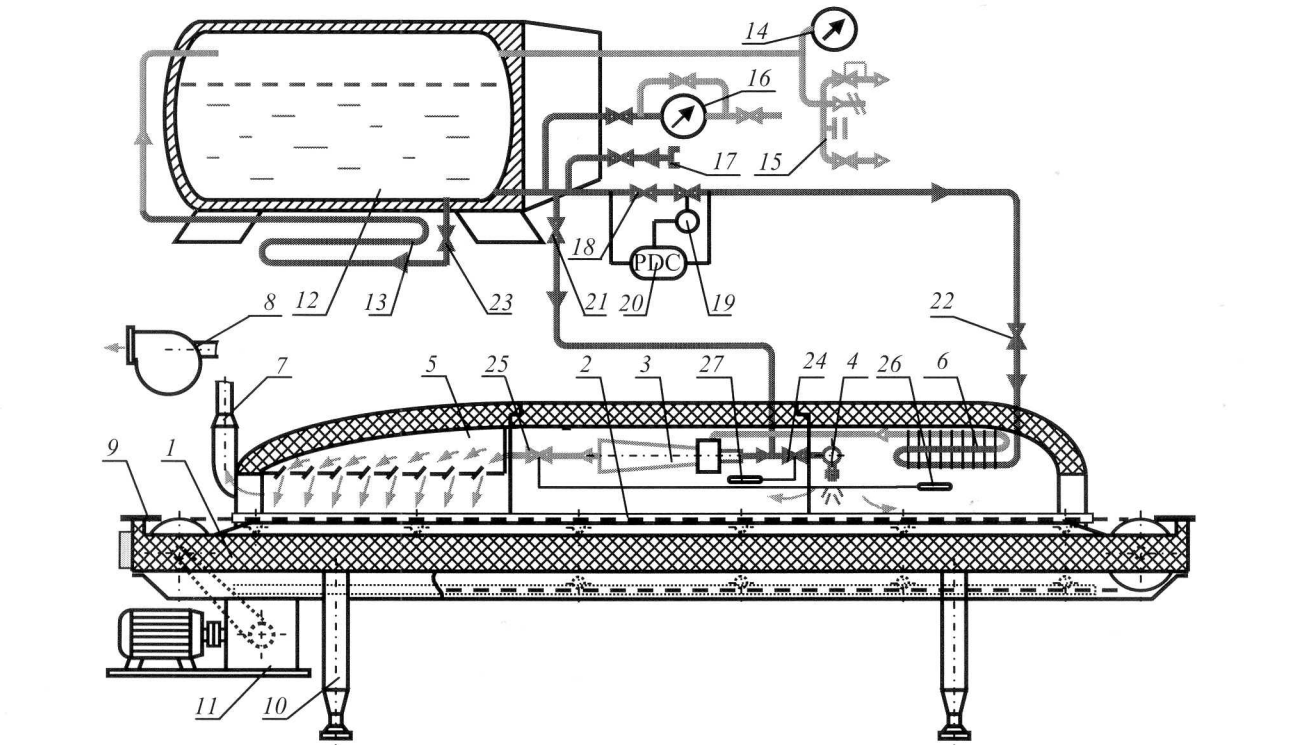


Рис. 3. Принципиальная схема азотной системы хладоснабжения с вихревой трубой для туннельного скороморозильного аппарата: 1 — корпус аппарата; 2 — конвейер; 3 — вихревая труба; 4 — коллектор с форсунками; 5 — газораспределительное устройство; 6 — теплообменник-газификатор; 7 — вытяжной канал; 8 — вентилятор; 9 — площадка загрузки-выгрузки; 10 — опоры; 11 — привод конвейера; 12 — цистерна с азотом; 13 — испарители цистерны; 14 — манометр; 15 — вентили газосброса; 16 — указатель уровня; 17 — вентиль заправки; 18 — вентиль выдачи жидкости; 19 — соленоидный вентиль; 20 — регулятор давления; 21 — вентиль подпитки; 22 — обратный клапан; 23 — вентиль подачи жидкости в испарители цистерны; 24, 25 — вентили-регуляторы расхода; 26, 27 — датчики температуры

чающая криогенную емкость (цистерну, запорную арматуру, а также приборы регистрации и регулирования параметров работы установки).

При создании в цистерне избыточного давления $P_1 = 0,2$ МПа жидкий азот подается в теплообменник-газификатор, размещенный в 3-ей зоне аппарата, где за счет разности температур жидкий азот газифицируется, расходуя потенциал испарения на домораживание продукции. Образовавшийся поток газообразного азота под давлением подается в вихревую трубу, размещенную во 2-ой зоне аппарата, где за счет эффекта вихревого разделения образуется два потока: горячий (t_r) и холодный (t_x). При этом понижение температуры на холодной стороне трубы может обеспечивать температуру (t_x) до -197°C , что соответствует устойчивому ожигению газа. Такой сжиженный поток подается на коллектор с форсунками для орошения продукции на этапе ее замораживания во II-ой зоне, при этом он снова газифицируется при распылении, полезно используя холодильный потенциал фазового перехода.

Второй поток газообразного азота с температурой (t_r) на уровне от -175 до -155°C направляется в газораспределительное устройство аппарата, где равномерно распределяется по ширине корпуса, обеспечивая предварительное охлаждение продукции (1-ая зона). Обработанные пары азота с темпе-

ратурой ($t_{\text{вых}}$) на уровне от -70 до -30°C удаляются из аппарата с помощью вытяжного канала и вентилятора.

Использование вихревой трубы в качестве оживителя в скороморозильном аппарате позволит компенсировать большинство потерь криоагента, и в итоге сократить общий его расход (до $0,8$ кг на 1 кг продукта), а также упростить эксплуатацию оборудования такого типа.

Эксплуатационные затраты можно дополнительно сократить за счет использования удаляемого из аппарата газообразного азота для хранения замороженной продукции.

Список литературы

1. Антонов А. А., Венгер К. П. Азотные системы хладоснабжения для производства быстрозамороженных пищевых продуктов. — Рязань: Узоречье, 2002.
2. Мартыновский В. С., Алексеев В. П. Термодинамический анализ эффекта вихревого температурного разделения газов и паров // Теплоэнергетика. 1955. № 11.
3. Мартынов А. В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. — М.: Энергоатомиздат, 1989.