

УДК 621.565

*В.Е. Козут, Е.Д. Бутовский, Н.В. Жихарева, М.Г. Хмельнюк**Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, 65082, Украина***ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОБМЕННИКА-ЭЖЕКТОРА В УСТАНОВКАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА**

*В статье приведен способ охлаждения воздуха в экстремальных условиях и его доводке к нужным параметрам. Показаны процессы обработки в центральном кондиционере с эжекторным теплообменником-доводчиком в теплый и холодный периоды года. Представлена схема холодильной машины с теплообменником-эжектором для охлаждения воды.*

**Ключевые слова:** *охлаждение воздуха – термозаметность – термовлажностная обработка – доводчик-распределитель*

*В.О. Козут, Є.Д. Бутовський, Н.В. Жихарева, М.Г. Хмельнюк**Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна***ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОБМІННИКА-ЕЖЕКТОРА В УСТАНОВКАХ ПРОМИСЛОВОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ**

*У статті наведено спосіб охолодження повітря в екстремальних умовах і його доведення до потрібних параметрів. Показані процеси обробки у центральному кондиціонері з ежекторним теплообмінником-доводчиком в теплий та холодний періоди року. Представлена схема холодильної машини з теплообмінником-ежектором для охолодження води.*

**Ключові слова:** *охолодження повітря – термопомітність – термовологісна обробка – доводчик-розподільник*

DOI: 10.15673/0453-8307.1/2015.28466



*This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>*

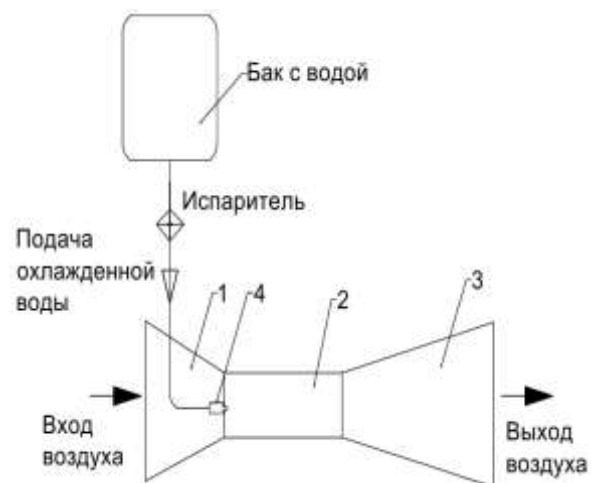
**I. ВВЕДЕНИЕ**

В современной промышленности необходимо поддерживать комфортную температуру воздуха на рабочем месте. Существует много различных методов поддержания температуры воздуха (приточно-вытяжная вентиляция, кондиционирование и охлаждение). Однако все эти методы слабо эффективны в горячих цехах. Приходится применять зональное охлаждение воздуха зоны, в которой находится рабочий. В основном применяется направленный воздушный поток, обдувающий рабочее место. Однако такое мероприятие в жарком цехе не приводит к положительному результату. Охлаждение воздуха приводит к значительным энергетическим затратам.

Решение этого вопроса возможно с применением установки с теплообменником-эжектором. Охлаждение воздуха осуществляется за счет впрыска мелкодисперсных капель воды в разогнанный поток воздуха в теплообменнике-эжекторе.

В области дозвуковых скоростей при данном виде охлаждения можно повысить полное давление потока (так называемый термогазодинамиче-

ский эффект). Такой процесс возможно осуществить в специально разработанном аппарате – эжекторе-теплообменнике. Данный аппарат был разработан в Одесской государственной академии холода. На рисунке 1 показана схема эжектора-теплообменника.



**Рисунок 1** – *Схема теплообменника-эжектора*

Предложенный теплообменник-эжектор состоит из конфузора 1, камеры смешения 2, диффузора 3, и форсунки 4. Поток воздуха в конфузоре достигает скорости 80 м/с. В камеру смешения подаются мелкодисперсные капли воды, предварительно охлажденные в водоохлаждающей машине до 4-6°С через форсунку мелкого распыла, приводящие к интенсивному теплообмену, смешению потоков и, как следствие – охлаждению потока воздуха.

## II. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОБМЕННИКА-ЭЖЕКТОРА

Методика расчета теплообменника-эжектора была основана на уравнениях теплового баланса.

$$Q_{ev} = Q_{cool} + Q_c, \quad (1)$$

где  $Q_{ev}$  – тепловая нагрузка от испарения рабочего вещества;  $Q_{cool}$  – тепловая нагрузка охлаждения воздуха смеси:

$$Q_{ev} = G_{wf} \cdot (h_2 - h_1) \quad (2)$$

$$Q_{cool} = C_p(t_1 - t_2) \quad (3)$$

В основе конструктивного расчета теплообменника-эжектора лежит определение диаметров аппарата, длин зон и углов наклонов конфузора и диффузора.

Экспериментальным путем были найдены оптимальные углы наклонов элементов теплообменника-эжектора:

- конфузор – 45°;
- диффузор – 10÷12°;
- диаметр камеры испарения –  $D_{chamber} = D_{ej}/2$ ;

где  $D_{ej}$  – диаметр эжектора, рассчитывается в зависимости от скорости потока (20 м/с) и производительности. Для обеспечения скорости потока  $M \leq 0,3$  в камере испарения.

Длина камеры испарения –  $L = 2 \div 4 D_{chamber}$ .

Оптимальный размер для хорошего перемешивания потоков и мгновенного теплообмена.

Длина диффузора –  $L = 8 \div 9 D_{chamber}$ .

Оптимальный размер для торможения потока охлажденного воздуха.

Диаметр конфузора должен быть не более 100 мм.

Диаметр диффузора –  $Dd = 2Dk$

Форсунка может быть любой конструкции, обеспечивающей необходимую производительность и поддерживающей скорость факела 100 м/с.

Разработанное устройство может быть использовано в охлаждении рабочего места в металлургическом производстве и охлаждении внутреннего объема военной техники в жаркое время года. Система охлаждения военной техники может быть двух типов. Для повышения КПД силовой установки предпочтительна схема с эжекционной системой охлаждения. Это также позволит снизить термозаметность.

Регулирование подачи воды через форсунку позволяет поддерживать комфортную влажность в зоне нахождения человека. Установка может быть компактной и использоваться как бытовая техника. Единственный недостаток – это понижение температуры воздуха, которое зависит от количества подаваемой холодной воды, в помещениях с высокой влажностью необходимо проводить дополнительное осушение воздуха. Вода может быть специально подготовленная. Такое охлаждение воздуха подходит для зонного охлаждения места сталеваара или водителя боевой техники.

Холодильная машина для охлаждения воды состоит из компрессора, конденсатора воздушного охлаждения, регулирующей системы по хладагенту, испарителя, водяного насоса и бака для хранения воды (рисунок 3).

К теплообменнику-эжектору со стороны конфузора прикреплен вентилятор, обеспечивающий необходимый расход с регулируемой производительностью. Холодильная машина может использоваться с несколькими теплообменниками-эжекторами.

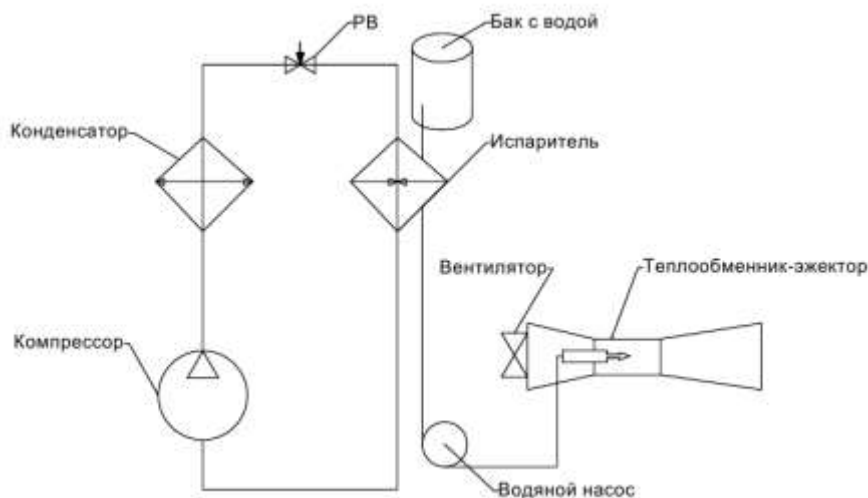


Рисунок 3 – Схема устройства теплообменника-эжектора с холодильной машиной для охлаждения воды.

### III. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКТОРНЫХ ТЕПЛО-ОБМЕННИКОВ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРАХ

Системы кондиционирования воздуха с эжекторными теплообменниками позволяют поддерживать в отдельных помещениях заданные параметры воздуха за счет тепловой обработки воздуха кроме кондиционера, еще и в доводчиках-распределителях. Эти системы имеют небольшую стоимость и свои отдельные преимущества, например, минимальные затраты на обработку воздуха в кондиционере, электроэнергии, минимальный размер воздуховодов.

Особенностями схемы являются: отсутствие в центральном кондиционере (ЦК) второй степени нагревателя, тепловлажностной обработки только наружного воздуха, использование рассольной системы охлаждения воздухоохладителя и наличие рассольных трубопроводов к теплообменнику, расположенного в корпусе доводчика. Регулировка параметров осуществляется изменением расхода воды в теплообменнике, через который проходит воздух из помещения и охлаждается, эжектируется воздухом из кондиционера (точка 2') соплом воздухораспределителя. В корпусе доводчика они смешиваются (процессы 2'-Пл-3-Пл) и выходят снова в помещение как приточный воздух (рисунок 4).

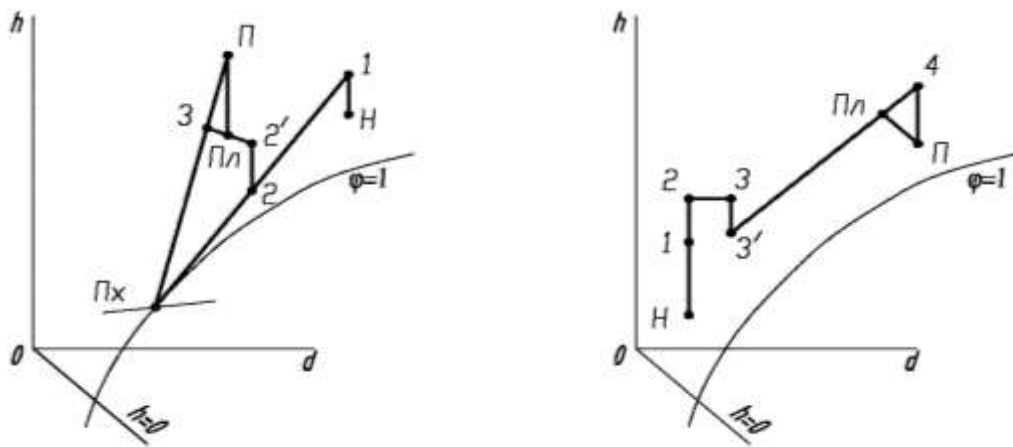


Рисунок 4 – Процессы обработки в центральном кондиционере с эжекторным теплообменником-доводчиком в теплый и холодный периоды года

Коэффициент эжекции:

$$K_e = \frac{G_e}{G_s}, \quad (4)$$

где  $G_e$  – количество эжекционного воздуха в теплообменнике;  $G_s$  – количество воздуха, поступающего из кондиционеров.

Расход приточного воздуха:

$$G_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пл}}}{h_n - h_{\text{пл}}}, \text{ кг/с.} \quad (5)$$

Продуктивность кондиционера:

$$G_{\text{кд}} = G_{\text{пр}} \frac{1}{1 + K_e}, \text{ кг/с.} \quad (6)$$

Холодопроизводительность воздухоохладителя:

$$Q_{\text{ло}} = G_{\text{кд}} (h_1 - h_2), \text{ кВт.} \quad (7)$$

Расход воздуха через теплообмен ЭДПР

$$G_{\text{ТО}} = G_{\text{пл}} \frac{K_e}{1 + K_e} - G_{\text{кд}}, \text{ кг/с} \quad (8)$$

Тепловая нагрузка на теплообменник доводчика:

$$Q_{\text{ТО}} = G_{\text{ТО}} (h_n - h_3), \text{ кВт.} \quad (9)$$

Холодопроизводительность холодильной машины:

$$Q_0^{x.m} = 1,06 \dots 1,10 (Q_{\text{но}} + Q_{\text{ТО}}), \text{ кВт.} \quad (10)$$

### ВЫВОДЫ

Теплообменники-эжекторы нашли широкое применение в различных отраслях. Теплообменники-эжекторы обладают простой конструкцией и высокой надежностью. Они работают без утечек, помех, не нуждаются в техосмотре и обладают в связи с этим высокой производственной безопасностью.

Использование теплообменника-эжектора способно решить различные задачи по охлаждению воздуха и его доводки до нужных параметров.

В статье приведен способ охлаждения воздуха в экстремальных условиях и его доводке к нужным параметрам. Показаны процессы обработки в центральном кондиционере с эжекторным теплообменником-доводчиком в теплый и холодный периоды года.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Когут В.Е., Бутовский Е.Д., Носенко Н.Г. Проектирование термоконденсатора-эжектора. Холодильная техника и технология. – 2013. – № 6 (146). – С. 45-48.
2. Башаров А. Об «Армате» вопреки секретности. Режим доступа: <http://vpk-news.ru/articles/9286/> / № 37 (454). – Дата обращения: 19.09.2012.
3. Lennox. Режим доступа: [http://lennox.ua/html/sprav/print/book\\_3\\_0\\_print.php](http://lennox.ua/html/sprav/print/book_3_0_print.php). Дата обращения: 20.11.2006.
4. Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. – М.: АСВ. – 2001.
5. Опытный средний танк «Объект 907». Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Объект\\_907](http://ru.wikipedia.org/wiki/Объект_907)

V. Kogut, I. Butovskyi, N. Zhikhareva, M. Khmelniuk

Odessa National Academy of Food Technologies, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082, Ukraine

## APPLICATION OF EJECTOR-HEAT EXCHANGER IN THE INDUSTRIAL AIR COOLING INSTALLATIONS

*The paper presents air cooling method in extreme conditions and fine-tuning to the desired parameters. Treatment processes in central air-conditioner with ejector heat exchanger closers in warm and cold periods of the year are shown. In modern industry, it is necessary to maintain a comfortable temperature of air in the workplace. There are many different methods of maintaining the temperature of the air (forced-air ventilation, air conditioning and refrigeration). However, all these methods are poorly effective in hot shops. The solution of this problem is possible with the use of installation with ejector - heat exchanger. Cooling air is carried out by injection of fine water droplets in the air stream overlocked ejector - heat exchanger. The developed device can be used for cooling the workplace in metallurgical production and cooling the internal volume of military equipment in the hot season. Air-conditioning system with ejector heat exchangers allows maintaining in separate rooms set parameters of air through the heat treatment of air, except for the air conditioner, and even in-closers distributors.*

**Keywords:** Air cooling – Thermoperceptibility – Hydrothermal treatment

## REFERENCES

1. Kogut, V., Nosenko, N., Butovskyi, I. 2013. Designing thermo ejector condenser. Kholodylna tekhnika ta tekhnologiya [Refrigeration engineering and technology], No. 6(146), 45–48 (in Russian). doi: 10.15673/0453-8307.6/2013.32782
2. Basharov, A. 2012. About "Armat" despite the secrecy. Available at: <http://vpk-news.ru/articles/9286/> / No. 37 (454), (Accessed 19 Sept. 2012).
3. Lennox. Available at: [http://lennox.ua/html/sprav/print/book\\_3\\_0\\_print.php](http://lennox.ua/html/sprav/print/book_3_0_print.php) (Accessed 20 Nov. 2006).
4. Shctocman, E. 2011. Ventilation, air conditioning and purification of air at food industry enterprises. Moscow: ACB.
5. Senior medium tank "Object 907" Available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/object\\_907](http://ru.wikipedia.org/wiki/object_907).

Отримана в редакції 03.11.2014, прийнята до друку 17.11.2014