

УДК 62-681; 621.175:536.24

**В. Е. Козум** 

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, м. Одесса, 65082, Украина

✉ e-mail: vek.56@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4431-256X>

## НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЭЖЕКТОРНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ

*В статье автор акцентирует внимание на серии важных вопросов, связанных с экономической эффективностью энергетического сектора промышленности. Применение эжекторных теплообменников лежит в основе качественного использования контактного теплообмена. Приведена классификация применения эжекторных теплообменников в различных областях промышленности, которая напрямую связана с процессом работы систем.*

**Ключевые слова:** Эжекторный теплообменник; Контактный теплообмен; Фазовый переход; Вспомогательный поток; Коэффициент теплового расширения.

**В. О. Козум** 

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна

✉ e-mail: vek.56@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4431-256X>

## НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЕЖЕКТОРНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В РІЗНИХ СИСТЕМАХ

*У статті автором акцентується увага на серії важливих питань, пов'язаних з економічною ефективністю енергетичного сектору промисловості. Застосування ежекторних теплообмінників лежить в основі якісного використання методу контактного теплообміну. Наведено класифікацію використання ежекторних теплообмінників у різних галузях промисловості, яка напряму залежить від процесу роботи системи.*

**Ключові слова:** Ежекторний теплообмінник; Контактний теплообмін; Фазовий перехід; Допоміжний потік; Коефіцієнт теплового розширення.



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

### I. ВВЕДЕНИЕ

Экономическая эффективность использования теплообменников в промышленности зависит от качественного применения теплообмена и капитальных затрат в эти аппараты, а также от эксплуатационных затрат.

В технической литературе все чаще появляется термин "эжекторный теплообменник", в конструкцию которого заложено представление о струйном аппарате. Струйные аппараты довольно просты в конструкции, так как работают без непосредственной затраты механической энергии.

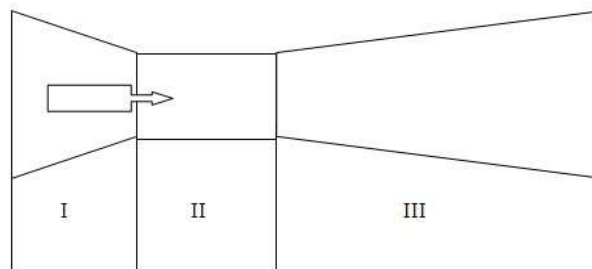
### II. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу процесса работы теплообменников эжекторов положен контактный теплообмен между паром и жидкостью.

Принцип такого теплообмена в аппарате заключается в том, что он осуществляется на основе смешивания пара и жидкости или, наоборот, иногда происходит фазовый переход, а в некоторых случаях – не происходит. Пар и жидкость могут быть одного веще-

ства, тогда дальнейшего разделения не требуется. Пар и жидкость могут быть из различных веществ, тогда после теплообмена необходимо проводить дополнительное разделение смеси.

Для компонентов, участвующих в теплообмене из одного вещества, наиболее важными явлениями в этом процессе являются: лобовое сопротивление капель, испарение, трение о стенки канала и конденсация из основного потока. Хотя эти явления проявляются одновременно, все же есть преобладание каждого из них в своей части рассматриваемого процесса.



**Рисунок 1** – Распределение зон по длине теплообменника эжектора

Зона I – зона ускорения потока газа, состоящего из воздуха и паров легкокипящей жидкости, за счет сужения конфузора (подготовка к контактному теплообмену).

Зона II – зона активного контактного теплообмена между основным потоком газа и впрыскиваемой жидкостью (мгновенное охлаждение газа).

Зона III – зона торможения потока и конденсация жидкости из газовой смеси (воздух перегрет, а жидкость значительно переохлаждена).

Оценка указанных явлений нужна для качественного анализа процессов, проходящих в аппарате.

По основным принципам применения можно классифицировать эжекторные теплообменники. Ус-

ловно можно рассмотреть три системы, в которых применяется эжектор теплообменник (закрытые, полукрытые и открытые) по отношению к окружающей среде.

### III. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛО-ОБМЕННИКОВ

Классифицировать системы, использующие эжекторы теплообменники, можно по движению основного и вспомогательного потоков, скоростным характеристикам, по отношению к скорости звука, по фазовому переходу (таблицы 1-3).

Таблица 1 — Классификация систем, работающих на базе эжекторных теплообменников.

Системы	Промышленное название аппарата	Процессы в конфузоре	Процессы в камере смешения / испарения	Процессы в диффузоре	Процессы в форсунке
Закрытые	Термопрессор; промежуточный охладитель	Ускорение основного потока (паров аммиака)	Мгновенный теплообмен от смешения и испарения аммиака	Торможение основного потока (паров аммиака)	Мелкодисперсный распыл (жидкий аммиак)
	Концевой охладитель холодильной установки	Ускорение основного потока (паров аммиака)	Мгновенный теплообмен от смешения и испарения аммиака	Торможение основного потока (паров аммиака)	Мелкодисперсный распыл (жидкий аммиак)
Полукрытые	Термоконденсатор углеводородов	Ускорение основного потока (воздушной смеси с парами углеводородов)	Мгновенный теплообмен от смешения и испарения азота или углекислоты и конденсация углеводородов	Торможение основного потока (воздушной смеси и жидких углеводородов)	Мелкодисперсный распыл (жидкий азот/углекислота)
	Эжектор – фильтр дымовых газов	Ускорение основного потока (воздушной смеси с дымовыми газами)	Мгновенный теплообмен от смешения и испарения азота или углекислоты и конденсация компонентов дымовых газов	Торможение основного потока (воздушной смеси сконденсированными дымовыми газами)	Мелкодисперсный распыл (жидкий азот/углекислота)
Открытые	Эжектор – увлажнитель воздуха в камере термообработки	Ускорение основного охлажденного потока воздуха	Мгновенный теплообмен от смешения и испарения воды увлажнение воздуха	Торможение основного потока увлажненного воздуха	Мелкодисперсный распыл (охлажденная вода)
	Эжектор – снегогенератор	Ускорение основного охлажденного потока воздуха	Мгновенный теплообмен от смешения и замерзания воды и образование снега	Торможение основного потока воздуха и снега	Мелкодисперсный распыл (охлажденная вода)
	Эжектор – охладитель воздуха в зоне рабочего места	Ускорение основного потока воздуха	Мгновенный теплообмен от смешения и испарения воды	Торможение основного потока воздуха	Мелкодисперсный распыл (охлажденная вода)
	Эжекторная градирня	Ускорение основного потока воздуха	Мгновенный теплообмен от воздуха и охлаждение воды	Торможение основного потока воздуха и отделение охлажденной воды	Мелкодисперсный распыл (вода)

Таблиця 2 — Классификация систем по движению основного и вспомогательного потока.

Системы охлаждения (теплообмена)	Скорость потока в камере смешения число Маха-Маевского	Движение основного потока	Движение вспомогательного потока
Термопрессор – промежуточный охладитель	$M=0.3$	Эжектор-теплообменник (охлаждение)	форсунка
Концевой охладитель холодильной установки	$M=0.3$	Эжектор-теплообменник (охлаждение)	форсунка
Термоконденсатор углеводородов	$M=0.3$	Эжектор-теплообменник (конденсация)	форсунка
Эжектор – фильтр дымовых газов	$M=0.3$	Эжектор-теплообменник (конденсация)	форсунка
Эжектор – увлажнитель воздуха в камере термообработки	$M=(0.1-0.3)$	Эжектор-теплообменник (охлаждение и увлажнение)	форсунка
Эжектор – снегогенератор	$M=(0.1-0.3)$	Эжектор-теплообменник (охлаждение и снегообразование)	форсунка
Эжектор – охладитель воздуха в зоне рабочего места	$M=(0.1-0.3)$	Эжектор-теплообменник (охлаждение)	форсунка
Эжекторная градирня	$M=$ менее 0.1	Форсунка (охлаждение)	Эжектор-теплообменник

Таблиця 3 – Классификация систем по фазовому переходу в эжекторе теплообменнике основного и вспомогательного потоков

Системы охлаждения (теплообмена)	Фазовый переход основной поток	Фазовый переход вспомогательный поток
Термопрессор – промежуточный охладитель	без фазового перехода	жидкость–пар
Концевой охладитель холодильной установки	без фазового перехода	жидкость–пар
Термоконденсатор углеводородов	пар–жидкость	жидкость–пар
Эжектор – фильтр дымовых газов	пар–жидкость–твердое вещество	жидкость–пар
Эжектор – увлажнитель воздуха в камере термообработки	без фазового перехода	без фазового перехода
Эжектор – снегогенератор	жидкость–твердое вещество	без фазового перехода
Эжектор – охладитель воздуха в зоне рабочего места	без фазового перехода	жидкость–пар
Эжекторная градирня	без фазового перехода	без фазового перехода

В инженерных расчетах применяются зависимости, полученные в результате экспериментальных данных, и слепой перенос на различные виды аппаратов не приводит к оптимальной эксплуатации и скрывает резервы данного устройства. Важной проблемой в расчетах является правильное определение движения основного и вспомогательного потоков.

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

теплообменника является объемное содержание паров вещества в смеси, температура окружающей среды и рабочее вещество (охлажденные углеводороды; углекислота; инертный газ, азот в виде жидкости).

В основе конструктивного расчета эжектора-теплообменника лежит определение диаметров аппарата, длин зон и углов наклона конфузора и диффузора. Экспериментальным путем были найдены оптимальные углы наклона элементов эжектора: конфузор –  $45^{\circ}\text{C}$ ; диффузор –  $10\div 12^{\circ}\text{C}$ .

Определены следующие соотношения:

Диаметр камеры испарения

$$D_{chamber} = Dэ/2,$$

где  $Dэ$  – диаметр эжектора, рассчитывается в зависимости от скорости потока ( $20 \div 25$  м/с) и производительности.

Для обеспечения скорости потока  $M=0,1 \div 0,3$  в камере испарения.

Длина камеры испарения

$$L = 2 \div 4 D_{chamber}$$

Оптимальный размер для хорошего перемешивания потоков и мгновенного теплообмена.

Длина диффузора

$$L = 7 \div 9 D_{chamber}$$

Оптимальный размер для торможения потока и выпадения. Форсунка может быть любой конструкции, обеспечивающая необходимую производительность и поддерживающая скорость факела  $50 \div 100$  м/с.

Для решения задач проектирования эжекторов теплообменников необходимо:

- формализация задачи и разработка алгоритмов управления тепловой эффективностью теплообменника эжектора;

- разработка фенологических и математических моделей теплообменника эжектора и их идентификация с объектами управления;

- анализ тепловой эффективности теплообменников эжектора, разработка и реализация оптимальных вариантов.

Применение эжектора-теплообменника осуществляется также и в других системах, но в данной классификации представлены устройства, в разработках которых принимал участие автор статьи.

## V. ВЫВОДЫ

Представленная классификация эжекторных теплообменников позволяет качественно оценить их применение в различных сферах производства.

Использование эжектора теплообменника способно решить задачу промышленности по сохранности углеводородов при хранении, и, особенно, при транспортировке нефтепродуктов, а также при переливе из емкости в емкость. Эжектор-теплообменник посредством смеси сжатого охлажденного воздуха и мелкодисперсных капель воды обрабатывает поверхность полутуш. Дополнительный интерес вызывает образование мелкодисперсного льда при взаимодействии смеси сжатого воздуха и капель воды при выходе из диффузора – эжектора-теплообменника, с воздухом низкой температуры, циркулирующим в холодильной камере. Получаемый мелкодисперсный

кристаллический лед может найти свое применение в широком спектре задач. Теплообменник-эжектор может быть применен для снегования мясных штабелей.

Применение систем с фильтром на основе эжектора-теплообменника позволяет провести очистку дымовых газов, практически полностью избавить поток дымовых газов от загрязняющих веществ группы канцерогенов. Такая необходимость возникает ввиду перехода на низкокачественное топливо и высокий процент выбросов в момент переходных режимов работы котельных установок.

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 на рабочих местах с высокой температурой. Приходится применять зональное охлаждение воздуха зоны, в которой находится рабочий. В основном, применяется направленный воздушный поток, обдувающий рабочее место. Решение этого вопроса возможно с применением установки с эжектором-теплообменником.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Когут В. Е.** Проектирование термоконденсатора-эжектора / В. Е. Когут, Е. Д. Бутовский, Н. Г. Носенко // Холодильная техника и технология. – 2013. – № 6 (146). – С. 45-48.  
doi: 10.15673/0453-8307.6/2013.32782
2. **James E. Brumbaugh.** HVAC Fundamentals, Volume 1. Willey Publishing Inc., Indianapolis, Indiana – 2004.
3. **Бутаков С. Е.** Основы вентиляции горячих цехов. / С. Е. Бутаков // Свердловск: Metallurgizdat. – 1962. – 246 с.
4. **Богословский В. Н.** Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / В. Н. Богословский, О. Я. Кокорин, Л. В. Петров // М.: Стройиздат. – 1985. – 217 с.
5. **Ананьев В. А.** Холодильное оборудование для современных центральных кондиционеров / В. А. Ананьев, И. В. Седих // – М.: Евроклимат, изд. ООО "Диксис Трейдинг" – 2001.
6. **Крупнов Б. А.** Руководство по проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. / Б. А. Крупнов, Н. С. Шарафудинов // Москва-Вена – 2006.
7. **Штокман Е. А.** Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман // М. АСВ – 2001.

Отримана в редакції 20.01.2016, прийнята до друку 03.03.2016

V. E. Kogut<sup>✉</sup>

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaya str., Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: vek.56@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4431-256X>

## SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL FUNDAMENTALS OF EJECTOR HEAT EXCHANGERS DEVELOPMENT AND THEIR APPLICATION IN DIFFERENT SYSTEMS

*During the last decades world industrial projects are characterized by increasing of power consumption. Considerable contribution to the power balance is deposited by manufacture of refrigeration machinery. It is the challenge for development of information technologies, revising of fuel strategies revision in favor of natural gas and other factors. Burning of petroleum hydrocarbons is associated with greenhouse gas emissions into the atmosphere, which is an environmental problem. Therefore, an intensive search for alternative compression refrigeration continues. Ejector refrigerating machines can be attributed to the best solutions. However, the wide practical application depends on many constraints - low energy efficiency (small thermal coefficients compared with absorption chillers). The author focuses on a series of relevant issues related to economic efficiency in the power industry sector. Economic efficiency of ejector heat exchangers utilization in the branch depends on the quality of heat application and investments to such heat exchangers, as well as on the operating costs. The utilization of heat exchangers is based on the qualitative usage of contact heat exchange. The classification of the ejector heat exchanger utilization in various industry branches directly related to workflow systems is given.*

**Keywords:** Ejector heat exchanger; Contact heat exchanger; Auxiliary stream; Thermal Expansion coefficient; Change of phase.

### REFERENCES

1. **Kogut V. E., Butovskiy I. D., Nosenko N. G.** (2013). Design thermocondenser-ejector. *Refrigeration engineering and technology*, No.6 (146), 45-48 (in Russian). doi: 10.15673/0453-8307.6/2013.32782
2. **James E. Brumbaugh.** (2004). HVAC Fundamentals, Vol. 1. Willey Publishing Inc., Indianapolis, Indiana.
3. **Butakov S. E.** (1962). Fundamentals of ventilating hot shops. Sverdlovsk, Metalurgizdat, 246 p.
4. **Bogoslovsky V. N., Kokorin O. Ya., Petrov L. V.** (1985). Air conditioning and refrigerating, Stroiiizdat, 217 p.
5. **Ananjev V. A., Sedyh I. V.** (2001). The cooling equipment for the modern central air conditioners. Moscow: Euroclimate, OOO "Dixis Trading"
6. **Krupnov B. A., Sharaphadinov N. S.** (2006). Guiding on projection of a heating services and air conditioning, Moscow-Vienna.
7. **Shtokman E. A.** (2001). Ventilating, conditioning and air filtration on food industry enterprises. Moscow: ACB.

Received 20 January 2016

Approved 03 March 2016

Available in Internet 29 April 2016