

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-3.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN317.pdf>

Статья опубликована 15.05.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Деменев А.В., Трехлеб С.М. Особенности организации воздухообмена с применением теплового насоса в производственных помещениях // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 62**

**Деменев Алексей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва<sup>1</sup>

Доцент кафедры «Сервисного инжиниринга»

Кандидат технических наук

E-mail: [saprmgus@mail.ru](mailto:saprmgus@mail.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1573-6665>

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=237257](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=237257)

**Трехлеб Степан Михайлович**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва

Студент магистратуры

E-mail: [Trane98222@mail.ru](mailto:Trane98222@mail.ru)

## **Особенности организации воздухообмена с применением теплового насоса в производственных помещениях**

**Аннотация.** Представленная статья посвящена исследованию энергоэффективности теплового насоса. Направление исследования, позволяющие выявить и предложить конструктивные решения проблем, связанных с энергетическими потерями при обеспечении технологического процесса поддержания параметров микроклимата в производственных условиях являются актуальным. В статье приведены результаты экспериментального исследования зависимости климатических условий эксплуатации теплового насоса от показателей его эффективной работы. Основное внимание было уделено изменению параметров потребления электрической энергии оборудованием, во время осуществления своего рабочего цикла. Отслеживание, сбор и фиксация переменных составляющих на протяжении всего хода эксперимента проводилась посредством испытательного стенда, оснащенного климатическим оборудованием и программным обеспечением компании Mitsubishi Electric. По итогам исследования получено, что процесс поглощения тепла из внешней среды, при отрицательных показателях температуры, тепловой насос обеспечивает стабильный обогрев приточного воздушного потока в помещении заданной площади. Значение COP не опускается ниже значения в 1,7 при температуре -20°C эксплуатации наружного блока. Это показатель выше, чем при той же температуре решать аналогичную задачу, с применением электрического нагревателя. Тепловой насос, по сути, являясь холодильной машиной способен выполнять функции как нагрева так и охлаждения в теплый период года, что исключает необходимость установки и обслуживания дополнительной системы холодоснабжения.

---

<sup>1</sup> 141221, Россия, Московская область, Пушкинский район, дп. Черкизово, ул. Главная, 99

**Ключевые слова:** энергоэффективность; микроклимат; тепловое оборудование; вентиляция; тепловой насос

### Введение

Энергоэффективность является наиболее значимым показателем в сфере производства так как позволяет уменьшить фактические затраты на производство единицы продукции и тем самым повысить производительность и срок службы оборудования. Решение проблемы экономии энергоресурсов и энергетически эффективного производства является одной из важнейших целей РФ.

Когда заходит речь об увеличении энергоэффективности, не многие предприятия и организации понимают, что речь идёт не только об экономии ресурсов, но также о иного рода мероприятиях, которые в последствии обеспечат получение дополнительной прибыли. Одним из таких мероприятий является усовершенствование системы приточной вентиляции, путем применения процесса теплопереноса в условиях промышленного производства.

Системы, переносящие тепло в обратном направлении известны как тепловые насосы. Впервые тепловой насос был разработан в 1852 году, британским физиком и инженером Уильямом Томсоном, предложившим практическую тепло-насосную систему, названную “умножителем тепла”.

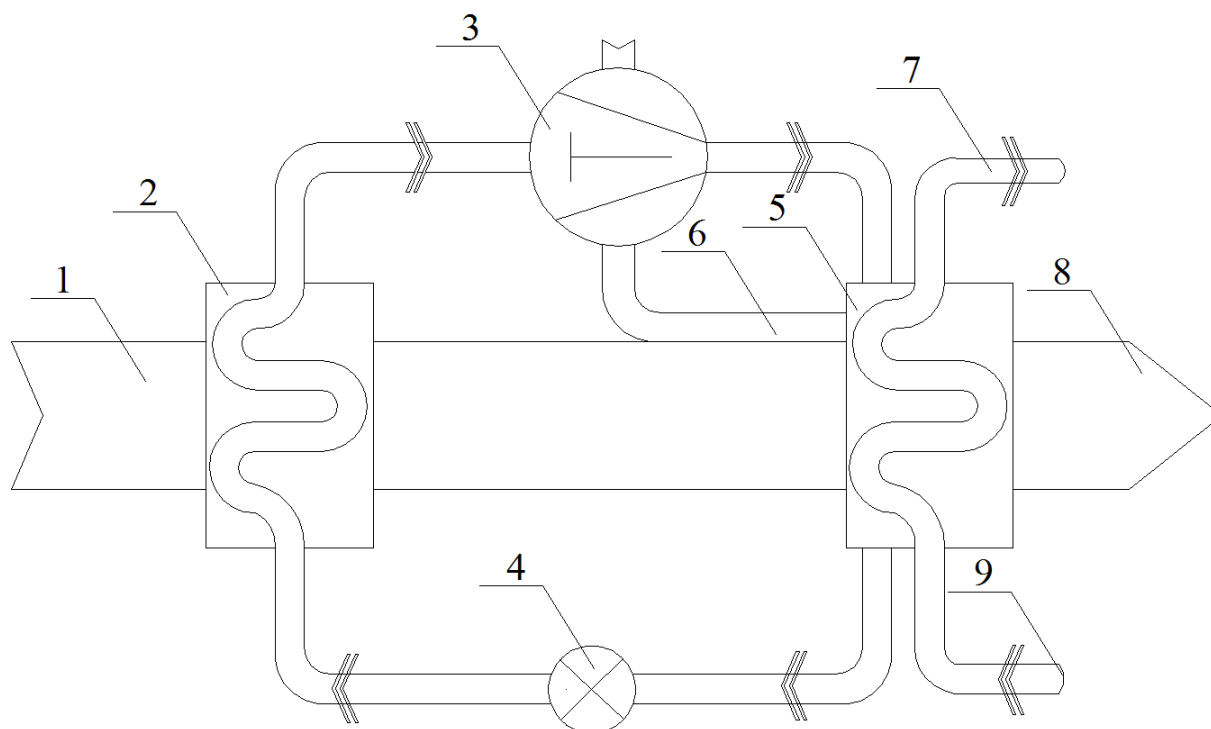
В научной литературе, имеются данные о процессе теплопереноса, а также изучен рабочий цикл теплового насоса, представляющий из себя процесс поглощения тепла жидким хладагентом при низких температурах с последующим выделением тепловой энергии при высоких её значениях.

Наряду с развитием и внедрением тепловых насосов во всём мире, применение тепловых насосов остаётся инновационным решением проблемы теплоснабжения для большинства регионов РФ, связано это с климатическими особенностями эксплуатации.

Из выше сказанного следует, что, исследование эффективности теплопереноса и технологий, опирающихся на данный процесс, является актуальным и востребованным.

Целью исследования является анализ энергоэффективности климатического оборудования на базе теплового насоса, с целью проведения изучения процесса его работы. Для выполнения поставленной цели авторами поставлены следующие задачи: получить достоверные данные энергоэффективности теплового насоса относительно более традиционных способов теплоснабжения, применяемых в системах вентиляции.

Тепловой насос, представляет собой парокомпрессионную холодильную установку, которая состоит из следующих основных компонентов: компрессор (3), конденсатор (2), расширительный клапан (4), испаритель (2).



1 - тепловая энергия окружающей среды, 2 - испаритель, 3 - компрессор, 4 - расширительный вентиль (ТРВ), 5 - конденсатор, 6 - электрическая энергия, 7 - подача в контур отопления или ГВС, 8 - тепловая энергия, 9 - обратная линия контура отопления или ГВС

**Рисунок 1.** Схема теплового насоса (составлено автором)

Применение тепловых насосов, для сокращения разности температуры между температурой воздушного потока подаваемой из окружающей среды и подаваемого в помещение конкурентоспособнее, по энергозатратам чем прямой нагрев электронагревательным элементом. Связанно это с тем, что для подогрева воздуха в результате перемещения теплоты, требуется работа компрессора. Затрачиваемый удельный 1 кВт электрической мощности расходуется на привод компрессора, теплопроизводительность при этом, получаем при цикле без потерь (условный) 5 кВт, в то время как нагрев одного киловатта теплоты требует того же количества электрической мощности. Следовательно, коэффициента преобразования энергии (далее «COP» Coefficient of Performance) теплового насоса по сравнению с электрическим калорифером равен пяти. Однако, чем ниже опускается температура окружающей среды, тем энергозатратнее переносить тепло и мощность обогрева снижается, уменьшается и COP. Так при понижении температуры до  $-10^{\circ}\text{C}$ , или ниже, падает производительность теплового насоса на 30 ÷ 50%.

Решение этой технической задачи нашли конструкторы компании Mitsubishi, реализовав схему парожидкостной инъекции. Назвали они такой тепловой насос Zubadan. Принцип работы заключается в следующем: в режиме обогрева давление жидкого хладагента, выходящего из конденсатора, роль которого выполняет теплообменник внутреннего блока, немного уменьшается с помощью расширительного вентиля. Парожидкостная смесь поступает в ресивер PowerReceiver. Внутри ресивера проходит линия всасывания, и осуществляется обмен теплотой с газообразным хладагентом низкого давления. За счет этого температура смеси снова понижается, и жидкость поступает на выход ресивера. Далее некоторое количество жидкого хладагента ответвляется через расширительный вентиль в цепь инъекции - теплообменник НИС.

Часть жидкости испаряется, а температура образующейся смеси понижается. За счет этого охлаждается основной поток жидкого хладагента, проходящий через теплообменник. После дросселирования с помощью расширительного вентиля, смесь жидкого хладагента и образовавшегося в процессе понижения давления пара поступает в испаритель, роль которого выполняет теплообменник наружного блока. За счет низкой температуры испарения тепло передается от наружного воздуха к хладагенту, и жидкая фаза в смеси полностью испаряется. В результате прохода через трубу низкого давления в ресивере PowerReceiver перегрев газообразного хладагента увеличивается, и фреон поступает в компрессор.

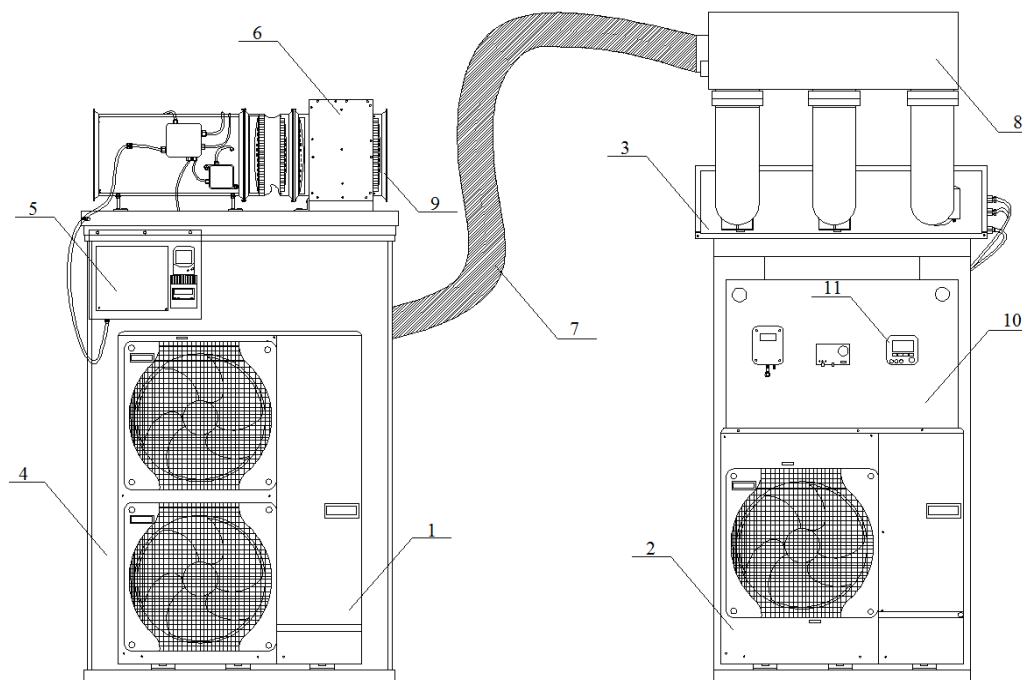
Кроме того, этот ресивер сглаживает колебания промежуточного давления при флуктуациях внешней тепловой нагрузки, а также гарантирует подачу на расширительный вентиль цепи инъекции только жидкого хладагента, что стабилизирует работу этой цепи.

Часть жидкого хладагента, ответвленная от основного потока в цепь инъекции, превращается в парожидкостную смесь среднего давления. При этом температура смеси понижается, и она подается через специальный штуцер инъекции в компрессор, осуществляя полное промежуточное охлаждение хладагента в процессе сжатия и обеспечивая тем самым расчетную долговечность компрессора. Расширительный вентиль задает величину переохлаждения хладагента в конденсаторе. Вентиль определяет перегрев в испарителе, а также поддерживает температуру перегретого пара на выходе компрессора около 90°C.

Это происходит за счет того, что, попадая через цепи инъекции в замкнутую область между спиралью компрессора, двухфазная смесь перемешивается с газообразным горячим хладагентом, и жидкость из смеси полностью испаряется. Температура газа понижается. Регулируя состав парожидкостной смеси, можно контролировать температуру нагнетания компрессора. Это позволяет не только избежать перегрева компрессора, но и оптимизировать теплопроизводительность конденсатора.

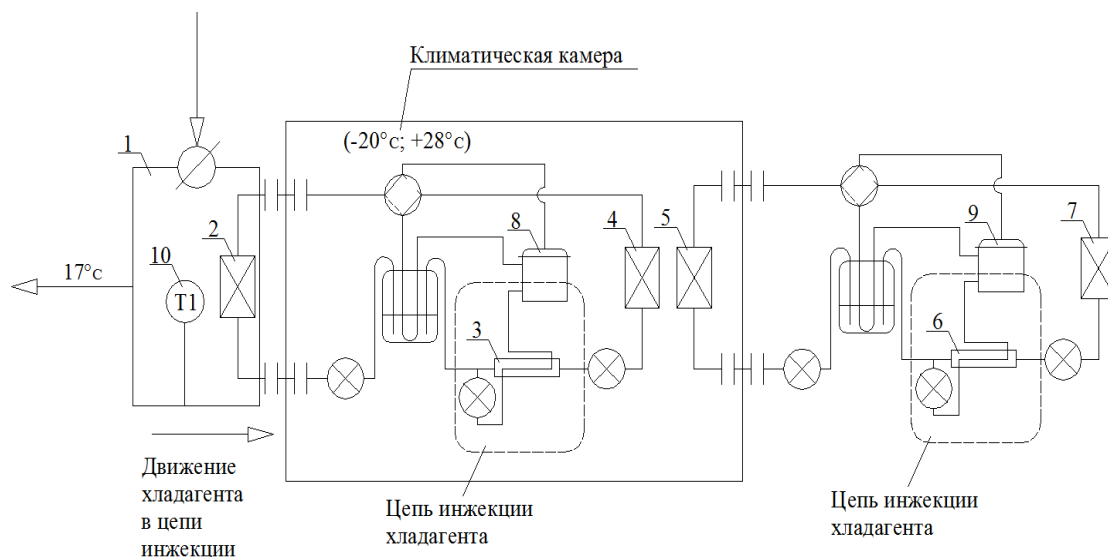
Инъекция жидкого хладагента создает существенную нагрузку на компрессор, снижая его энергетическую эффективность. Для уменьшения этой нагрузки введен теплообменник НИС. Передача теплоты между потоками хладагента с разными значениями давления приводит к тому, что часть жидкости испаряется. Образовавшаяся парожидкостная смесь при инъекции в компрессор создает меньшую дополнительную нагрузку.

Парожидкостная смесь, прошедшая теплообменник НИС, поступает через штуцер инъекции в компрессор. Таким образом, компрессор имеет два входа: штуцер всасывания и штуцер инъекции. Управляя расходом хладагента в цепи инъекции, удастся увеличить циркуляцию хладагента через компрессор при низкой температуре наружного воздуха, в результате повышается теплопроизводительность системы. В верхней неподвижной спирали компрессора предусмотрены отверстия для впрыска хладагента на промежуточном этапе сжатия.



1 - PУHZ-HRP71, 2 - PУHZ-RP60VHA4, 3 - PEAD-RPJA60, 4 - термо-камера, 5 - мультиизмеритель, 6 -хладоновый калорифер, 7 - соединительный трубопровод, 8 - воздушный коллектор, 9 - выход в вентиляцию, 10 - управление исследовательской установкой, 11 - панель управления

**Рисунок 2.** Испытательный стенд (составлено автором)



1 - приточная вентиляция, 2 - теплообменник внутреннего блока теплового насоса, 3 - теплообменник НИС теплового насоса, 4 - теплообменник наружного блока теплового насоса, 5 - теплообменник внутреннего блока вспомогательной системы, 6 - теплообменник НИСвспомогательной системы, 7 - теплообменник наружного блока вспомогательной системы, 8 - компрессор со штуцером инъекции теплового насоса, 9 - компрессор со штуцером инъекции вспомогательной системы, 10 - термодатчик

**Рисунок 3.** Схема испытательного стенда (составлено автором)

Исследовательский стенд, для получения достоверных результатов представляет собой систему теплового насоса. Внешний блок (PУHZ-HRP71) помещён в климатическую камеру

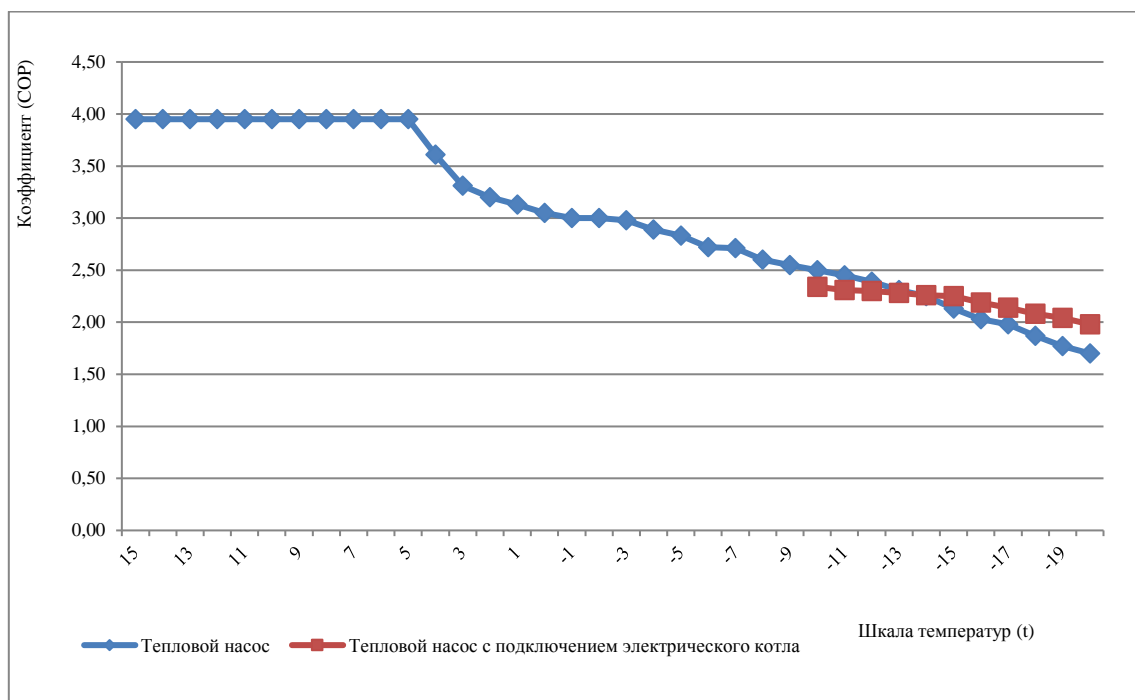
(рис. 2) в пределах которой осуществляется моделирование температуры окружающей среды в пределах от  $-20$  до  $+15$  градусов  $^{\circ}\text{C}$ . Внутренний блок теплового насоса, включающий систему фильтрации и хладоновый калорифер закреплён на крыше тепловой камеры.

Параметры внутри климатической камеры задаются и поддерживаются внутренним блоком (PEAD-RPJA60) полупромышленной системы кондиционирования. Соединение вспомогательной системы с климатической камерой осуществляется посредством воздушного коллектора (рис. 2) и теплоизолированного трубопровода. Внешний блок вспомогательной системы (PUNZ-RP60VHA4) установлен на специализированном каркасе.

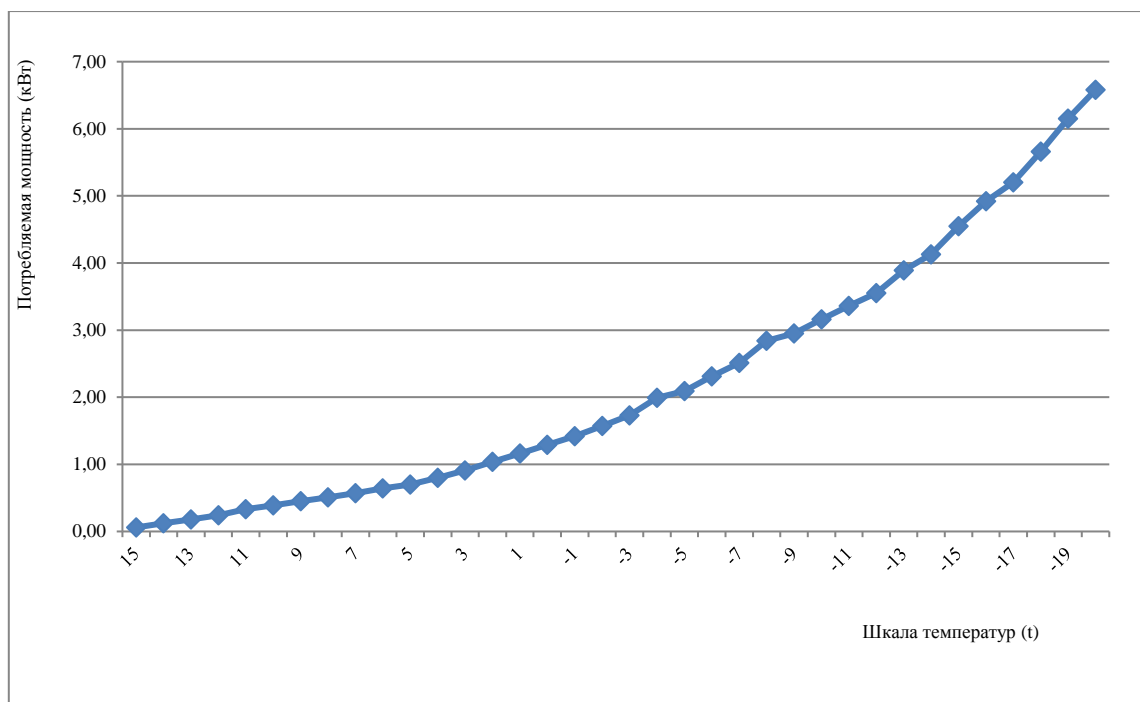
Для сбора данных используется инфракрасный мини-термометр (Fluke 62 Mini), посредством которого происходит снятие показаний встроенных термодатчиков (рис. 3).

Исходными данными является диапазон температур, соответствующий условиям эксплуатации наружного блока температурного насоса в центрально районе России. Этот параметр управляется посредством подачи воздушного потока от канального блока PEAD-RPJA60 исследовательского стенда (рис. 2). Опыт проводился при температуре эксплуатации теплового насоса в пределах от:  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$ . При этом на протяжении всего эксперимента осуществлялся сбор и фиксация изменений параметров энергопотребления.

На основе полученных данных был построен график зависимости роста энергетических затрат от понижения температуры внутри камеры, а также график падения коэффициента COP, при понижении предельных показателей температур.



**Рисунок 4.** Зависимость падения показателей (COP) при понижении температуры (t) внутри испытательной камеры (составлено автором)



**Рисунок 5.** Зависимость изменения показателя потребления электроэнергии ( $w$ ), от температуры ( $t$ ) внутри испытательной камеры (составлено автором)

Величина энергоэффективности и как следствие экономичности теплового насоса обуславливается выбором источника тепла и переменными характеристиками принимаемого режима работы.

### Заключение

По результатам проведённого исследования теплового насоса и электрического котла, в условиях различных температурных показателей окружающей среды, стало очевидно преимущество технологии теплового насоса. Процесс поглощения тепла из внешней среды, при отрицательных показателях температуры, тепловой насос обеспечивает стабильный обогрев приточного воздушного потока в помещение заданной площади. Значение COP не опускается ниже значения в 1,7 при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  эксплуатации наружного блока. Это показатель выше, чем при той же температуре для той же задачи применять электрический нагреватель.

Помимо представленных в работе значений, указывающих на более высокий показатель энергоэффективности, тепловой насос обладает рядом отличительных особенностей:

- Несмотря на более высокие начальные затраты, тепловой насос окупается в среднем не более чем за 3-5 лет.
- Тепловой насос по сути являясь холодильной машиной способен выполнять функции как нагрева так и охлаждения, исключая необходимость покупки, установки и обслуживания дополнительной системы кондиционирования воздуха.
- Обращая внимание на выше обозначенный пункт следует отметить высокий уровень автоматизации оборудования данного типа, не требующий постоянного контроля и человеческого вмешательства в рабочий процесс.

- Также одним из преимуществ теплового насоса является возможность его обеспечения бесперебойным источником энергии посредством генератора. В случае отключения энергоснабжения, та же операция для электрического котла потребует гораздо более крупных финансовых затрат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова, И.А. Отопление и вентиляция современных складских комплексов. / Стронгин А.С., Шилькрот Е.О. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6373](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6373) (дата обращения: 18.04.2017).
2. Башмаков И. Муниципальное энергетическое планирование / Башмаков И., Папушкин В. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cenef.ru/file/Bpaper103.pdf> (дата обращения: 18.04.2017).
3. Гранов, В.В. Энергоэффективные производственные здания. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=1885](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1885) (дата обращения: 13.04.2017).
4. Гешкович, В.Ф. От централизованного теплоснабжения - к тепловым насосам. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2811](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2811) (дата обращения: 14.04.2017).
5. Деменев, А.В. Теория и практика создания энергоэффективной бытовой холодильной техники, работающей при экстремально высокой температуре окружающей среды. / Набережных А.И. [Электронный ресурс]. Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 25. № 2 (25). С. 26.
6. Деменев, А.В. Исследование дросселирующих элементов в бытовых системах кондиционирования воздуха / Данилов А.И. [Электронный ресурс]. Вестник магистратуры. 2012. № 4. С. 34-42. URL: <http://docplayer.ru/27147781-Vestnik-4-7-magistratury-2012.html> (дата обращения: 14.04.2017).
7. Дмитриев А.Н. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / Ковалев И.Н., Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. [Электронный ресурс]. URL: [https://gisee.ru/articles/professional\\_literature/19451](https://gisee.ru/articles/professional_literature/19451) (дата обращения: 20.04.2017).
8. Дубинский М.А. Повышение энергоэффективности в промышленности. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4561](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4561) (дата обращения: 12.04.2017).
9. Тоимбаев А.М. Эффективность работы теплового насоса при различных режимах / Ермоленко М.В., Степанова О.А. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/65/10659> (дата обращения: 20.04.2017).
10. Конов А.Ф. Обоснование принципа работы теплового насоса с максимальным отопительным коэффициентом. [Электронный ресурс]. URL: <http://naukarus.com/obosnovanie-printsipa-raboty-teplovogo-nasosa-s-maksimalnym-otopitelnyum-koeffitsientom> (дата обращения: 16.04.2017).



**Demenev Alexey Vladimirovich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Moscow  
E-mail: [saprmgus@mail.ru](mailto:saprmgus@mail.ru)

**Trekhleb Stepan Mikhailovich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Moscow  
E-mail: [Trane98222@mail.ru](mailto:Trane98222@mail.ru)

## **Peculiarities of organization of air exchange with the application of heat pump in industrial premises**

**Abstract.** Peculiarities of organization of air exchange with the application of heat pump in industrial premises Presented article is devoted to the energy efficiency of the heat pump. The direction of research, to identify and propose constructive solutions to problems related to energy losses while ensuring technological process maintaining microclimate parameters in production environments are relevant. The article presents the results of the pilot studies according to climatic operating conditions of the heat pump from its efficient performance indicators. Focused on modifying consumption of electric power equipment during its life cycle. Tracking, collection and fixation of variables for the duration of the experiment was carried out by means of the test stand, equipped with climate equipment and software company Mitsubishi Electric. The study received, that the process of absorption of heat from the external Wednesday, at negative temperature indicators, heat pump provides stable heating Inlet Airflow into the room of a given area. COP value does not fall below the value at 1,7 at temperature  $-20^{\circ}\text{C}$  c outdoor unit operation. This figure is higher than at the same temperature to decide a similar task using electric heater. The heat pump is essentially as a chiller is able to perform functions such as heating and cooling in the warm season of the year, eliminating the need for installation and servicing of additional cooling systems.

**Keywords:** energy efficiency; climate; thermal equipment; ventilation; heat pump

### **REFERENCES**

1. Agafonova, I.A. Heating and ventilation of modern warehouse complexes / Strongin AS, Shilkroth EO [Electronic resource]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6373](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6373) (reference date: 04/18/2017).
2. Bashmakov I. Municipal Energy Planning / Bashmakov I., Papushkin V. [Electronic resource]. URL: <http://www.cenef.ru/file/Bpaper103.pdf> (circulation date: April 18, 2017).
3. Granov, V.V. Energy-efficient production buildings. [Electronic resource]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=1885](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1885) (reference date: April 13, 2017).
4. Geshkovich, V.F. From centralized heat supply to heat pumps. [Electronic resource]. URL: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2811](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2811) (reference date: 14/04/2017).
5. Demenev, A.V. Theory and practice of creating energy-efficient domestic refrigeration equipment operating at extremely high ambient temperatures / Naberezhny A.I. [Electronic resource]. The engineer's messenger of the Don. 2013. Vol. 25. No. 2 (25). p. 26.
6. Demenev, A.V. Investigation of throttling elements in domestic air-conditioning systems / Danilov A.I. [Electronic resource]. Magistracy newsletter. 2012. № 4. S. 34-

42. URL: <http://docplayer.ru/27147781-Vestnik-4-7-magistratury-2012.html> (reference date: 14/04/2017).
7. Dmitriev A.N. Guide for the assessment of the economic efficiency of investments in energy-saving measures / Kovalev I.N., Tabunshchikov Yu.A., Shilkin N.V. [Electronic resource]. URL: [https://gisee.ru/articles/professional\\_literature/19451](https://gisee.ru/articles/professional_literature/19451) (reference date: 04/20/2017).
8. Dubinsky M.A. Increase of energy efficiency in industry. [Electronic resource]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4561](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4561) (reference date: 04/12/2017).
9. Toimbaev A.M. Efficiency of the heat pump at various modes / Ermolenko MV, Stepanova OA [Electronic resource]. URL: <https://moluch.ru/archive/65/10659> (reference date: April 20, 2017).
10. Konov A.F. Justification of the principle of the heat pump with a maximum heating coefficient. [Electronic resource]. URL: <http://naukarus.com/obosnovanie-printsiparaboty-teplovogo-nasosa-s-maksimalnym-otopitelnyim-koeffitsientom> (application date: 04/16/2017).