

УДК 621.577

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А. И. Астапович, Д. И. Астапович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. Н. Никулина

*Рассмотрены возможность использования высокотемпературных тепловых насосов в качестве альтернативы малым и средним котельным. Приведены результаты расчета теплового насоса на сточных водах для фреонов R134a и R152a.*

**Ключевые слова:** высокотемпературные тепловые насосы, система теплоснабжения, фреоны, энергосбережение.

## HIGH TEMPERATURE HEAT PUMPS FOR CENTRAL HEATING

A. I. Astapovich, D. I. Astapovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Scientific supervisor T. N. Nikulina

*This article examines the possibility of using high-temperature heat pumps as an alternative to small and medium-sized boiler houses. The results of calculating a heat pump on wastewater for freons R134a and R152a are presented.*

**Keywords:** high-temperature heat pumps, heat supply system, freons, energy saving.

В последние годы наблюдается значительное увеличение интереса к устойчивым и экологически чистым методам обеспечения теплом жилых и промышленных зданий, в связи с этим тепловые насосы большой мощности становятся все более актуальными для систем централизованного теплоснабжения.

Реализация тепловых насосов большой мощности наиболее эффективна в крупных городах, где большие тепловые и холодильные нагрузки в течение длительного периода, где остро стоит проблема утилизации отходов, в том числе и тепловых, таких как сточные воды [1]. Их преимущества по сравнению с тепловыми насосами малой мощности заключаются в следующем [2]:

- более низкие удельные капиталовложения (на 1 кВт тепловой мощности);
- меньшая занимаемая площадь по сравнению с большим количеством мало-мощных тепловых насосов;
- более высокие технико-экономические показатели отдельных элементов и теплового насоса в целом;
- тепловые насосы могут быть встроены и в существующие системы теплоснабжения.

Развитие систем теплоснабжения на основе тепловых насосов перспективно в крупных городах (для решения экологических проблем), а также в регионах с относительно дешевой электроэнергией (как альтернатива использования природного газа).

Особенностью высокотемпературных тепловых насосов является то, что компрессор состоит из двух последовательно расположенных компрессоров, что позволяет достичь большей эффективности компрессорной установки и большей степени сжатия хладагента, соответственно – достижение большего давления.

**Расчет теплового насоса на сточных водах.** В качестве примера рассмотрим работу теплового насоса с 2-ступенчатым центробежным компрессором и промежуточным сосудом с тепловой мощностью 3 МВт, с температурой в испарителе 3,5 °C и в конденсаторе 90,1 °C (рис. 1). В качестве рабочего тела в тепловом насосе используются озонобезопасные фреоны R134a и R152a. Источником тепловой энергии являются сточные воды, которые в тепловом насосе охлаждаются с 16 до 10 °C. Тепловой насос может нагревать сетевую воду с температурой 58 °C до температуры 88 °C.

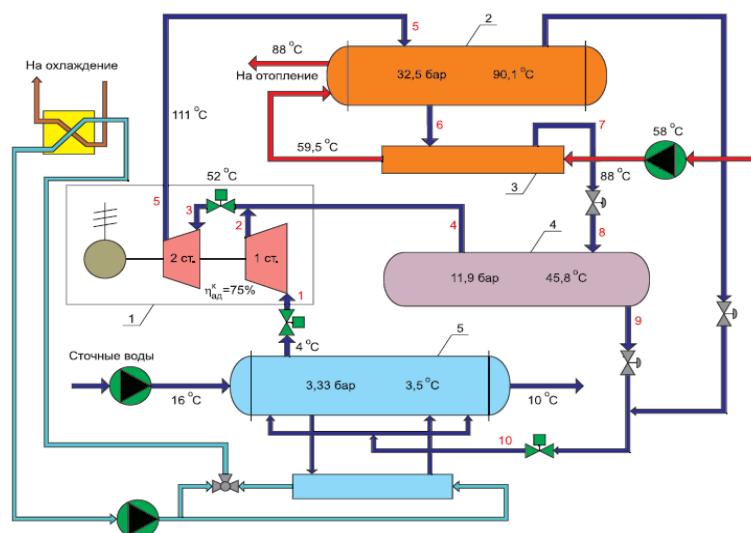


Рис. 1. Технологическая схема высокотемпературного теплового насоса

при использовании тепла сточных вод:

- 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – переохладитель;
- 4 – промежуточный сосуд; 5 – испаритель

Результаты расчета приведены в таблице.

#### Результаты расчета ТН на сточных водах с фреонами R-134a и R-152a

Параметр	Формула	R134a	R152a
1. Отношение расходов хладагентов в контурах высокого и низкого давлений	$\frac{G_H}{G_L} = \frac{h_4 - h_9}{h_4 - h_8}$	1,954	1,55
2. Энталпия пара перед 2-й ступенью компрессора, кДж/кг	$h_3 = \frac{(h_2 + \delta h_4)}{(1 + \delta)}$	431,4	540,2
3. Расход хладагента в верхнем контуре, кг/с	$G_H = \frac{Q_{конд}}{(h_5 - h_7)}$	24,63	15,8
4. Расход хладагента в нижнем контуре, кг/с	$G_L = \frac{G_H}{1 + \delta}$	12,6	8,03
5. Механическая энергия в 1-й ступени компрессора, кВт	$N_{k1} = G_L (h_2 - h_1)$	457	281,05
6. Механическая энергия во 2-й ступени компрессора, кВт	$N_{k2} = G_H (h_5 - h_3)$	766	363,4
7. Механическая энергия компрессора в целом, кВт	$N_k = N_1 + N_2$	1223	644,45

Окончание

Параметр	Формула	R134a	R152a
8. Потребление электроэнергии на привод компрессора, кВт	$N_k = N_1 + N_2$	1248	657,2
9. Коэффициент трансформации тепла	$\mu = \frac{Q_{\text{конд}}}{N_k}$	2,4	4,56

На основе результатов расчета построены *p*-*h*-диаграммы тепловых процессов для хладагента R134a (рис. 2, *a*) и для хладагента R152a (рис. 2, *б*).

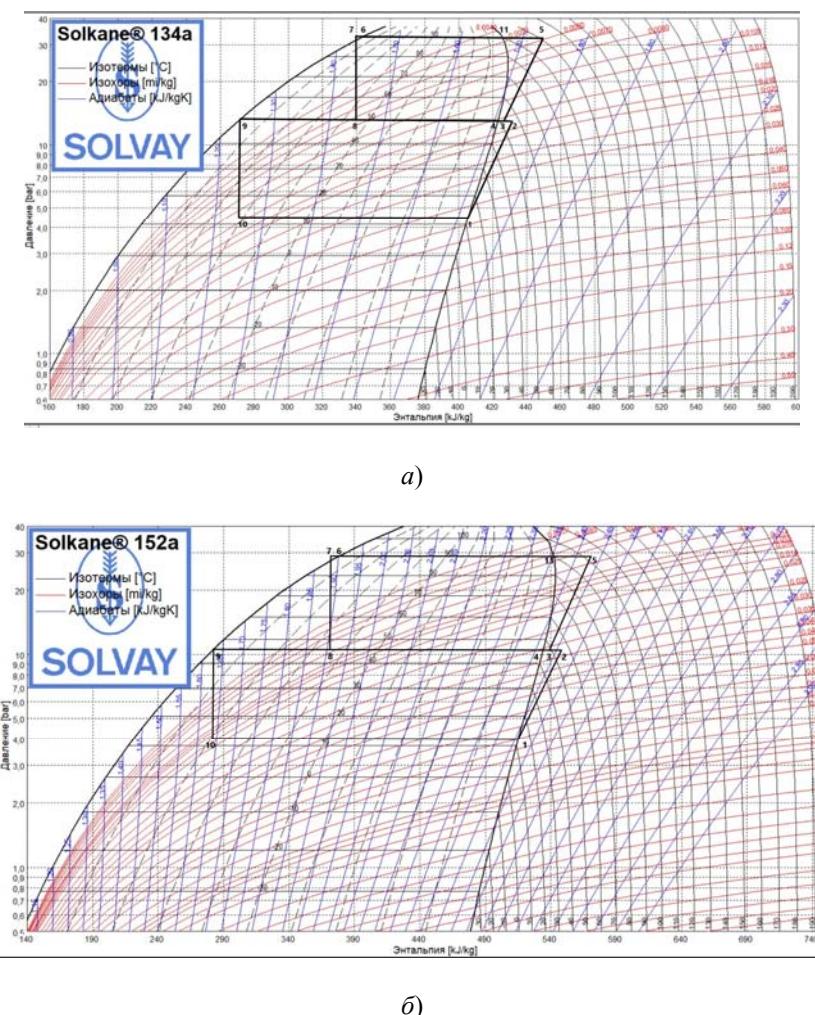


Рис. 2. Пример *p*-*h*-диаграмм теплового процесса двухступенчатого теплового насоса:  
*а* – для хладагента R134a; *б* – для хладагента R-152a

Таким образом, расчеты показывают, что высокотемпературные тепловые насосы большой мощности с двухступенчатыми центробежными компрессорами могут обеспечить нагрев горячей воды до 85–90 °С и иметь коэффициент трансформации тепла  $\mu = 2,4\text{--}4,6$  на сточных водах, т. е. высокотемпературные тепловые насосы могут стать достойной заменой для малых и средних котельных.

**Л и т е р а т у р а**

1. Васильев, Г. П. Эффективность и перспектива использования тепловых насосов в городском хозяйстве Москвы / Г. П. Васильев // Энергосбережение. – 2007. – № 8. – С. 63–65.
2. Стельмак, Е. М. Применение высокотемпературных тепловых насосов в системах теплоснабжения // Актуальные проблемы энергетики – 2024. – С. 499–502.
3. Васильев, Г. П. Теплонасосная установка, утилизирующая теплоту неочищенных сточных вод / Г. П. Васильев, И. М. Абуев, В. Ф. Горнов // Новости теплоснабжения. – 2013. – № 7 (155).

УДК 658.52-049.6

**РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ НУЛЕВОГО ТРАВМАТИЗМА  
«VIZION ZERO» НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**К. А. Агунович**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель О. Ю. Морозова

*Рассмотрены модели уровней безопасности и их иерархия. Представлена концепция нулевого травматизма «Vision Zero» в качестве наиболее понятного и удобного инструмента для обеспечения промышленной безопасности. Сделан обзор на основные пункты концепции и даны рекомендации по улучшению направлений для достижения осознанного подхода в сфере охраны труда, снижения травматизма и смертности на энергетических объектах.*

**Ключевые слова:** безопасность, показатели уровней безопасности, концепция «Vision Zero», снижение травматизма, гигиена труда, благополучие работников.

**IMPLEMENTATION OF THE “VIZION ZERO” CONCEPT  
AT ENERGY FACILITIES IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

**K. A. Agunovich**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Scientific supervisor O. Yu. Morozova

*This work considers the models of safety levels and their hierarchy. The concept of “Vision Zero” as the most understandable and convenient tool for ensuring industrial safety is considered. The main points of the concept are reviewed and recommendations are given to improve the directions for achieving a conscious approach to occupational safety, reducing injuries and fatalities at energy facilities.*

**Keywords:** safety, safety level indicators, “Vision Zero” concept, injury reduction, occupational hygiene, employee well-being.

В докладе анализируется эффективность внедрения концепции нулевого травматизма «Vision Zero» на энергетических объектах Республики Беларусь. Она является базой для обеспечения промышленной безопасности и организации производственного процесса с максимальным уровнем защиты работника от опасных и вредных факторов в процессе трудовой деятельности. Так как в современном обществе технологический прогресс и непрерывно растущая конкуренция меняют условия труда,