

Кузьмин Сергей Иванович,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ЗДАНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Kuzmin S.I.

USE OF THE BUILDING'S WASTEWATER DISPOSAL SYSTEM FOR HEAT PUMPS

Аннотация. В работе приведены результаты анализа эффективности применения тепловых насосов типа «вода-вода» для извлечения тепловой энергии из сточной жидкости систем водоотведения жилых зданий.

Ключевые слова: система водоотведения, бытовые стоки, тепловой насос, системы отопления.

Abstract. The paper presents the results of the analysis of the effectiveness of the use of heat pumps of the "water-water" type for the extraction of thermal energy from the wastewater fluid of the wastewater disposal systems of residential buildings.

Keywords: water disposal system, domestic wastewater, heat pump, heating systems

Потребление тепловой энергии инженерными системами здания (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение) носит транзитный характер – рабочая среда (воздух помещений, приточный вентиляционный, горячая вода) нагревается до расчетной температуры и затем удаляется из здания, безвозвратно, отдавая избыточное тепло окружающей среде. Таким образом, уходящая из здания энергия является потенциальным источником тепла для вторичного использования.

В настоящее время наибольшее распространение получили системы извлечения тепла из уходящего вентиляционного воздуха по средствам различных теплообменников [1] или тепловых насосов типа «воздух-вода» [2]. Однако, эффективность данных систем зависит от изменяющегося состояния теплосодержащей среды – наружного воздуха.

Более высокой термодинамической эффективностью и эксплуатационной стабильностью обладают тепловые насосы типа «вода-вода» [2]. Но их практическое применение ограничено обязательным наличием вблизи объекта источника природной воды и сложностью с прокладкой и эксплуатацией теплообменников в водоемах. В то же время практически в каждом эксплуатируемом имеется источник относительно теплой воды – сточная жидкость. Имея относительно стабильный расход и температуру в течение года, сточная жидкость может оказаться эффективным источником тепловой энергии для тепловых насосов и полезной составляющей в общем балансе генераторов тепла для здания.

В данной работе произведена оценка теплового потенциала сточной жидкости в зданиях. Составлена методика для определения возможного эффекта от извлечения тепловой энергии из сточной жидкости жилых зданий тепловыми насосами.

Резервное количество тепла, которое можно извлечь из сточной жидкости, зависит от её количества за расчетный период и температурного потенциала. Состав стоков в жилых и общественных зданиях определяется хозяйственной и фекальной жидкостями. Очевидно, что утилизацию тепловой энергии рационально производить из хозяйственных (или производственных) стоков. Учитывая, что доля фекальной жидкости не превышает 10% от общего расхода, остальное количество стоков может рассматриваться как потенциально тепло-содержащая среда.

Известно, что режим водопотребления в здании хотя и подчиняется суточной регулярности, но часовой (и мгновенный – секундный) существенно неравномерный. Имея ввиду наличие технической возможности по применению в системе водоотведения регулирующих емкостей для определения количества извлекаемой тепловой энергии стоков используем среднечасовые показатели:

$$W_w = Q_w \cdot \tau, \quad (1)$$

где Q_w – среднечасовая мощность тепла, извлекаемого из сточной жидкости, кВт; τ – период работы теплового насоса, час/год.

Тепловая мощность сточной жидкости Q_w [Вт] определяется её количеством и разностью потенциалов среды до t_{w1} и после t_{w3} теплового насоса:

$$Q_w = 0,28 \cdot G_w \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (t_{w1} - t_{w3}), \quad (2)$$

где G_w – расчетное количество стоков, удаляемых системами канализации, м³/час; c_w и ρ_w – соответственно теплоемкость (КДж/кг · °С) и плотность воды (кг/м³) при температуре t_{w1} .

Расчетное среднечасовое количество стоков G_w определится из суточной нормы водопотребления холодной g_c и горячей воды g_h [3] и числа потребителей в здании U :

$$G_w = \frac{U}{24} (0,9 \cdot g_c + g_h) \quad (3)$$

Число потребителей представим через норму полезной площади, приходящейся на одного жителя f_{Π} и геометрические характеристики здания:

$$U = \frac{A_{\Pi}}{f_{\Pi}} = \frac{S \cdot k_{\Pi} \cdot n_{\text{эт}}}{f_{\Pi}} = \frac{V \cdot k_{\Pi} \cdot n_{\text{эт}}}{H \cdot f_{\Pi}} = \frac{V \cdot k_{\Pi} \cdot n_{\text{эт}}}{h_{\text{эт}} \cdot n_{\text{эт}} \cdot f_{\Pi}} = \frac{V \cdot k_{\Pi}}{h_{\text{эт}} \cdot f_{\Pi}}, \quad (4)$$

где A_{Π} – общая полезная площадь в здании, м²; S – горизонтальная проекция здания, м²; k_{Π} – коэффициент, определяющий долю полезной площади в здании в его общей площади; $n_{\text{эт}}$ – этажность здания; V – полезный объем здания, м³; H – высота полезного объема здания, м; $h_{\text{эт}}$ – высота этажа, м.

Средневзвешенная температура стоков определится из расчетных температур горячей t_h и холодной t_c воды и соотношения норм водопотребления:

$$t_{w1} = \frac{g_h t_h + 0,9 \cdot g_c t_c}{g_h + g_c} \quad (5)$$

С учетом (10-13) среднее расчетное часовое количество тепла, подлежащее утилизации (Вт) можно определить по выражению:

$$Q_w = \frac{0,28}{24} (g_h + 0,9 \cdot g_c) \frac{V \cdot k_{\Pi}}{h_{\text{эп}} \cdot f_{\Pi}} \cdot \rho_w \cdot c_w \left(\frac{0,9 \cdot g_c t_c + g_h t_h}{0,9 \cdot g_c + g_h} - t_{w3} \right) \quad (6)$$

На графиках (рис.1) представлены расчетные значения резерва тепла и энергии в сточной жидкости при различных нормах водопотребления и температурных условиях по отношению к соответствующим значениям системы отопления зданий, расположенных в «умеренно-холодном» климатическом районе с расчетной температурой на отопление $t_{co} = -35^{\circ}\text{C}$ и умеренном с расчетной температурой $t_{co} = -25^{\circ}\text{C}$.

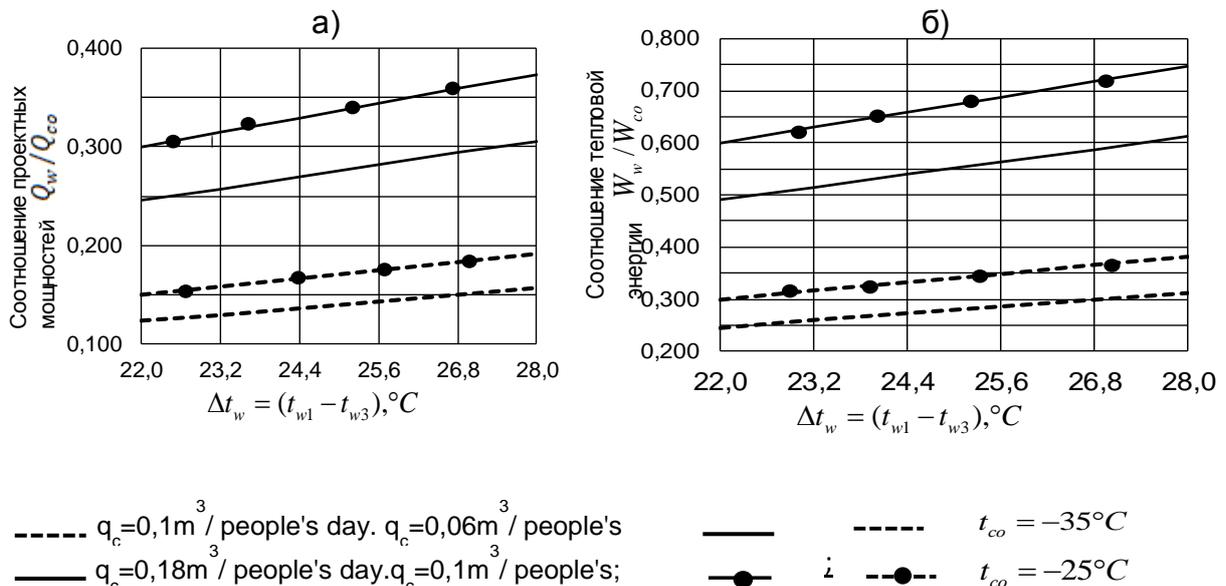


Рисунок 1 – Соотношения между мощностью теплового потенциала стоков и расчетной мощностью системы отопления Q_w/Q_{co} – а) и количествами тепла, содержащегося в стоке, и потребностью тепла на отопление здания W_w/W_{co} за расчетный период – б)

Расчеты показывают, что резерв тепловой мощности сточной жидкости достигает от 12 Вт до 25 Вт на 1 м² обогреваемого помещения, что составляет значительную долю от расчетной мощности на отопление здания: от 0,15 % до 0,3 % для «холодных» районов и даже до 40 % для «умеренных». Еще более значительная доля тепловой энергии стоков в необходимой энергии на отопление зданий, которая может достигать от 25 % до 60 % для «холодных» районов и даже 80 % для умеренного климата. Такой эффект достигается за счет относительно постоянного резерва мощности энергии стоков в течение года при изменяющейся потребности на отопление в течение отопительного периода.

Таким образом, анализ резерва тепловой энергии сточной жидкости дает основание для рассмотрения этой низко потенциальной среды в качестве ис-

точника тепла для инженерных систем здания. Проблема заключается не столько в технической реализации процесса извлечения тепла с повышением температурного потенциала, сколько в возможных издержках и соответственно рентабельности этого способа энергоснабжения.

Эффективность использования сточной жидкости в качестве источника энергии будет оценивать стоимостью извлеченного тепла C_W (у.е./МВт*час):

$$C_W = \frac{C_Q}{W_w} = \frac{C_{ТН} \cdot k_{ТН} \cdot K_{М,ТН} + C_N}{W_w}, \quad (7)$$

где $C_{ТН}$ – стоимость теплового насоса, у.е.; $k_{ТН}$ – коэффициент самоокупаемости теплового насоса, год⁻¹; C_N – затраты на эксплуатацию теплового насоса в году, у.е./год; $K_{М,ТН}$ – поправочный коэффициент, учитывающий затраты на монтажные работы; W_w – количество тепла, извлеченного из стоков за расчетный период, кВт*час/год.

Стоимость теплового насоса представим зависимостью от его расчетной (паспортной) тепловой производительности $Q_{ТН,о}$:

$$C_{ТН} = c_q * Q_{ТН,о}, \quad (8)$$

где c_q – стоимостной показатель (удельная стоимость), отнесенный к единице тепловой мощности насоса, у.е./кВт.

Как показывает анализ цен на тепловые насосы типа «вода-вода», представленные на рынке, их стоимость изменяется в широких пределах от разных производителей [3]. Для универсальности анализа стоимость оборудования выражена в условных единицах (у.е.) и представлена на рисунке 2.

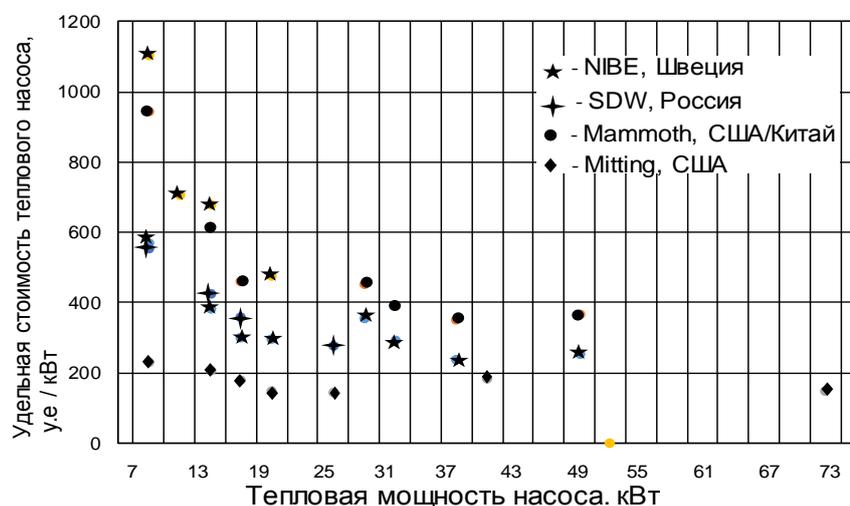


Рисунок 2 – Распределение удельной стоимости тепловых насосов C_q , у.е./кВт по расчетной мощности $Q_{ТН,о}$, кВт

По данному распределению определяются выражения для максимальных c_q^{\wedge} и минимальных c_q^{\vee} значений удельной стоимости:

$$c_q^{\wedge} = 2100 \cdot (Q_{ТН}^m - 4)^{-0,531}; \quad c_q^{\vee} = 248 \cdot (Q_{ТН}^m - 4)^{-0,147} \quad (9)$$

Затраты на монтаж оборудования обычно соотносят со стоимостью оборудования с некоторой уменьшающей поправкой для более дорогих систем и составляют от 50 % до 80 % от $C_{ТН}$. Поэтому, коэффициент $K_{М.ТН}$ в (7) можно представить как:

$$K_{М.ТН} = 1,825 - 0,004 \cdot Q_{ТН.о} \quad (10)$$

Затраты на эксплуатацию теплового насоса определяются через текущую электрическую мощность $N_{ТН.t}$ и время работы $\tau_{ТН}$:

$$C_N = c_N \cdot W_K = c_{эл} \cdot N_{ТН.t} \cdot \tau_{ТН}, \quad (11)$$

где c_N – тариф на электроэнергию, у.е./кВт·час.

Текущая электрическая мощность компрессора теплового насоса зависит $N_{ТН.t}$ от номинальной мощности $N_{ТН.о}$, температуры теплосодержащей среды t_{w1} и эффективности преобразования тепла:

$$N_{ТН.t} = N_{ТН.о} \cdot [1 - 0,054 \cdot \ln(0,2 \cdot t_{w1} + 1)] \quad (12)$$

Отношение номинальной тепловой мощности насоса к (установочной) мощности компрессора показывает расчетную эффективность преобразования тепловой энергии COP_o . Для тепловых насосов типа «вода-вода» расчетные условия обычно соответствует температурам теплосодержащей среды $t_{w1} = 20^\circ C$ и вторичного теплоносителя $t_{w2} = 60^\circ C$ и в среднем $COP_o = 4,2$. Текущее значение COP_{tt} снижается по сравнению с номинальным COP_o с понижением t_{w1} и увеличивается при уменьшении температуры на выходе из системы t_{w2} . Это соотношение можно оценить выражением (8):

$$COP_{tt} = (0,0021 \cdot t_{w2} - 0,2 \cdot t_{w2}^2 - 5,38) \cdot \ln(0,2 \cdot t_{w1} + 1) - 0,0028 \cdot t_{w2}^2 + 0,232 \cdot t_{w2} - 1,048 \quad (13)$$

Соответственно текущая электрическая мощность компрессора составит:

$$N_{ТН.t} = \frac{Q_{ТН.о}}{COP_{tt}} \cdot [1 - 0,054 \cdot \ln(0,2 \cdot t_{w1} + 1)] \quad (14)$$

Количество тепла W_w , извлеченного из стоков за расчетный период $\tau_{ТН}$ при стабильных условиях, определится из (15):

$$W_w = Q_w \cdot \tau_{ТН} \quad (16)$$

Таким образом, уравнения (6-15) составляют систему, позволяющую решать поставленную задачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические системы // Под. Ред. И. Г. Староверова ч.3 Вентиляция и кондиционирование. – М., Стройиздат. – 1993. – 638 с.
2. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно – методическое издание 20160. Москва: Издательство «Перо». – 2004. – 28 с.
3. СП 30.13330. 2016 Внутренний водопровод и канализация.
4. Price list for heat pumps Meeting Retrieved from: [https:// solar-dom.com/catalog/60/teplovoy-nasos-voda-voda-meeting-mds/](https://solar-dom.com/catalog/60/teplovoy-nasos-voda-voda-meeting-mds/) [Интернет - ресурс]