

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ СНЕГА НА ТЭЦ

М.М. ЗАМАЛЕЕВ, В.И. ШАРАПОВ, И.В. ГУБИН, В.А. ПАВЛОВ

Ульяновский государственный технический университет

Показано, что основными преимуществами использования энергетического потенциала ТЭЦ для утилизации снега является экономия топлива за счет повышения величины удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении, а также сокращение расхода топлива на перевозку снега автотранспортом. Предложены новые технологии использования низкопотенциальных источников теплоты на теплоэлектростанциях (ТЭЦ) для утилизации снега. Выполнен сравнительный анализ экономической эффективности разработанных технологий.

Ключевые слова: технологии утилизации снега, тепловые схемы ТЭЦ, обратная сетевая вода, удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении.

В связи с тем, что каждый год на территории России выпадает значительное количество осадков в виде снега, возникает необходимость поиска путей решения проблем по его вывозу и утилизации. В качестве одного из таких вариантов предлагается использовать существующую инфраструктуру городской ТЭЦ.

Известно, что структура ТЭЦ характеризуется наличием низкопотенциальных источников теплоты, которые могут быть пригодны для утилизации снега. Авторами предложены новые технологии использования инфраструктуры ТЭЦ для утилизации снега с применением в качестве греющего агента основного конденсата турбин, конденсата сетевых подогревателей и обратной сетевой воды [1, 2].

Особенность предложенных технологий заключается в том, что стационарная снегоплавильная установка (ССУ) представляет собой железобетонный резервуар с установленным внутри подогревателем циркулирующей воды (рис. 1).

Подогреватель циркулирующей воды представляет собой поверхностный теплообменник, погруженный в поток циркулирующей в резервуаре жидкости, а в качестве теплоносителя используется основной конденсат турбины или обратная сетевая вода.

Для оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловой схеме ТЭЦ, в связи с установкой ССУ, была использована методика, разработанная в научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» (НИЛ ТЭСУ) Ульяновского государственного технического университета [3].

Основным показателем, по которому оценивается энергетическая эффективность новых технологий, является величина удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении $\nu_{\text{тф}}$, кВт·ч/т, получаемой за счет увеличения отборов пара на утилизацию 1 тонны снега.

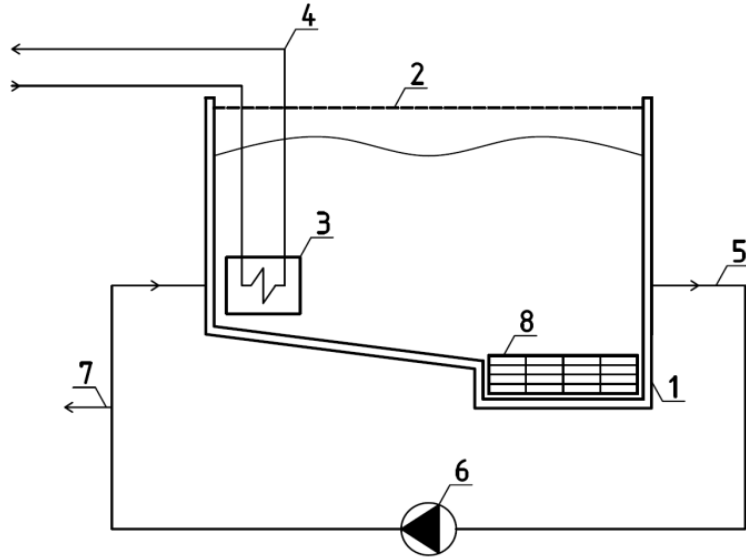


Рис. 1. Схема стационарной снегоплавильной установки (ССУ): 1–железобетонный резервуар; 2–решетка приема снега; 3–подогреватель циркулирующей воды; 4–трубопровод греющей воды; 5–циркуляционный трубопровод; 6–циркуляционный насос; 7–отвод воды в систему водоочистки; 8–контейнеры для сбора мусора

Так, удельная выработка электроэнергии $v_{\text{тф}}$ для варианта с использованием теплоты основного конденсата турбин составляет

$$v_{\text{тф}} = \frac{\Delta h_{\text{снег}}}{3,6\eta_{\text{ССУ}}} \left[\frac{(h_0 - h_{\text{рег}}^3)\eta_{\text{эм}}}{(h_{\text{рег}}^3 - h_{\text{п.в}})} - \frac{\Delta p}{\Delta h_{\text{о.к}}^{\text{ССУ}}\eta_{\text{н}}} \right], \quad (1)$$

где $\Delta h_{\text{снег}}$ – изменение энтальпии снежно–ледяной массы в процессе утилизации, кДж/кг; $\eta_{\text{ССУ}}$ – КПД стационарной снегоплавильной установки; h_0 – энтальпия свежего пара, кДж/кг; $h_{\text{рег}}^3$ – энтальпия условного эквивалентного регенеративного отбора, кДж/кг; $h_{\text{п.в}}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг; $\eta_{\text{эм}}$ – электромеханический КПД турбогенератора; Δp – давление, создаваемое насосом, МПа; $\Delta h_{\text{о.к}}^{\text{ССУ}}$ – изменение энтальпии конденсата сетевых подогревателей до и после ССУ, кДж/кг; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса.

Для схемы с использованием теплоты обратной сетевой воды удельная выработка электроэнергии $v_{\text{тф}}$ составит:

$$v_{\text{тф}} = \frac{\Delta h_{\text{снег}}}{3,6\eta_{\text{ССУ}}} \left[\frac{(h_0 - h_i)\eta_{\text{эм}}}{(h_{\text{сп}} - h'_{\text{сп}})} + \frac{(h_{\text{п.в.}} - h'_{\text{сп}})(h_0 - h_{\text{рег}}^3)\eta_{\text{эм}}}{(h_{\text{сп}} - h'_{\text{сп}})(h_{\text{рег}}^3 - h_{\text{п.в}})} - \frac{\Delta p}{\Delta h_{\text{с.в}}^{\text{ССУ}}\eta_{\text{н}}} \right], \quad (2)$$

где h_i – энтальпия пара, используемого в качестве греющего агента на i -м участке схемы, кДж/кг; $h_{\text{сп}}$ – средневзвешенная энтальпия отопительных отборов, кДж/кг; $h'_{\text{сп}}$ – средневзвешенная энтальпия конденсата сетевых подогревателей, кДж/кг; $\Delta h_{\text{с.в}}^{\text{ССУ}}$ – изменение энтальпии сетевой воды при прохождении через ССУ, кДж/кг.

Данный показатель позволяет также найти экономию условного топлива ΔB , т, которая определяется как

$$\Delta B = v_{\text{тф}} (b_{\text{э.к}} - b_{\text{э.т}}) G_{\text{ссу}} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где $b_{\text{э.к}}$ – удельный расход условного топлива на конденсационную выработку электроэнергии, кг/(кВт·ч); $b_{\text{э.т}}$ – удельный расход условного топлива на теплофикационную выработку электроэнергии, кг/(кВт·ч); $G_{\text{ссу}}$ – количество утилизируемого снега, т.

При расчете энергетической эффективности технологий утилизации снега необходимо учитывать затраты топлива на выработку в котле дополнительного расхода пара:

$$B_{\text{доп}} = \frac{\Delta D_i (h_0 - h_{\text{п.в}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{пк}}}, \quad (4)$$

где ΔD_i – разность расходов пара, получаемая при использовании пара разных потенциалов для нагрева воды на одну и ту же величину, т/год; h_0 , $h_{\text{п.в}}$ – энтальпии острого пара и питательной воды, кДж/кг; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания условного топлива, кДж/кг.

Определить экономичность технологий утилизации снега на ТЭЦ, руб., можно как

$$\Delta \mathcal{E} = 10^{-3} [v_{\text{тф}} (b_{\text{э.к}} - b_{\text{э.т}}) G_{\text{ссу}} \pm B_{\text{доп}}] \cdot C_{\text{т}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{т}}$ – цена условного топлива, руб./т.

Для оценки применимости предложенных технологий использования низкопотенциальных источников теплоты для утилизации снега на ТЭЦ необходимо провести расчет технико-экономических показателей.

Учет капитальных вложений на осуществление разработанных технологий произведен на основании показателей объектов-аналогов.

Затраты на теплообменное оборудование рассчитывались исходя из необходимой площади нагрева, м^2 [4]:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{ср}}}, \quad (6)$$

где Q – тепловая мощность теплообменника, Вт,

$$Q = \Delta t_{\text{гр}} c_{\text{в}} G_{\text{гр}}, \quad (7)$$

где $\Delta t_{\text{гр}}$ – разность температуры греющей среды на входе и выходе из теплообменника, К; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $G_{\text{гр}}$ – расход греющей среды, кг/ч; K – коэффициент теплопередачи, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$),

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (8)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи соответственно со стороны греющего и нагреваемого теплоносителя, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$); δ – толщина стенки трубы, м; $\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт/(м·К);

$\Delta t_{\text{ср}}$ – полный температурный напор, К,

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (9)$$

где $\Delta t_{\text{б}}$ и $\Delta t_{\text{м}}$ – большая и меньшая разность температур теплоносителей, К.

Условный диаметр используемых в теплообменнике стальных нержавеющих труб составляет 32 мм. Зная площадь теплообмена и площадь поверхности одного погонного метра трубы, найдем необходимую длину трубы для изготовления теплообменника:

$$L = \frac{F}{f_{\text{пм}}}, \quad (10)$$

где $f_{\text{пм}}$ – площадь поверхности одного погонного метра трубы, м^2 .

Объем железобетонного резервуара определяется на основе скорости, необходимой для осаждения взвешенных частиц (10 мм/м), а также количества циркулирующей воды, используемой для утилизации заданного объема снега [5].

Для определения расхода циркулирующей воды рассмотрим уравнение теплового баланса теплообменного устройства:

$$G_{\text{гр}} = (t'_{\text{гр}} - t_{\text{гр}}) c_{\text{в}} \eta_{\text{то}} = G_{\text{ц}} (t'_{\text{наг}} - t_{\text{наг}}) c_{\text{в}}, \quad (11)$$

где $G_{\text{гр}}$ – расход греющего потока, кг/ч; $G_{\text{ц}}$ – количество воды циркулирующей в снегоплавильной камере, кг/ч; $\eta_{\text{то}}$ – КПД теплообменного устройства.

Определим расход греющего потока:

$$G_{\text{гр}} = \frac{G_{\text{ц}} (t'_{\text{наг}} - t_{\text{наг}}) c_{\text{в}}}{(t'_{\text{гр}} - t_{\text{гр}}) c_{\text{в}} \eta_{\text{то}}}. \quad (12)$$

Рассмотрим уравнение теплового баланса снегоплавильной камеры:

$$G_{\text{ц}} (t'_{\text{наг}} - t_{\text{наг}}) c_{\text{в}} = \eta_{\text{ссу}} (G_{\text{сн}} (t_{\text{пл}} - t_{\text{сн}}) c_{\text{сн}} + G_{\text{сн}} \Delta h_{\text{сн}} + G_{\text{сн}} (t_{\text{наг}} - t_{\text{пл}}) c_{\text{в}}) \quad (13)$$

где $G_{\text{сн}}$ – количество утилизируемого снега, кг/ч; $\Delta h_{\text{сн}}$ – изменение энтальпии снежно–ледяной массы в процессе утилизации, кДж/кг; $c_{\text{сн}}$ – теплоемкость снега, кДж/(кг·К); $t_{\text{пл}}$ – температура плавления снега, К; $\eta_{\text{ссу}}$ – КПД стационарной снегоплавильной установки.

В уравнении теплового баланса $\eta_{\text{ссу}}$ учитывает следующие факторы:

- потери теплоты поверхностью жидкости вследствие собственного теплового излучения;
- потери теплоты поверхностью жидкости вследствие конвективного теплообмена с атмосферой;
- потери теплоты, связанные с испарением с поверхности жидкости.

Определим расход циркулирующей воды:

$$G_{\text{ц}} = \frac{\eta_{\text{ссу}} G_{\text{сн}} ((t_{\text{пл}} - t_{\text{сн}}) c_{\text{сн}} + \Delta h_{\text{сн}} + (t_{\text{наг}} - t_{\text{пл}}) c_{\text{в}})}{(t'_{\text{наг}} - t_{\text{наг}}) c_{\text{в}}}. \quad (14)$$

Стоит отметить, что в большинстве случаев ТЭЦ находится в черте города. Следовательно значительный экономический эффект достигается путем сокращения расхода топлива на перевозку снега автотранспортом. Это связано с отсутствием необходимости вывоза снега на сухие снегосвалки, расположенные за пределами города.

Расчет «плеча» вывоза снега автотранспортом проводился для реальных условий г. Ульяновска. Проектируемое место расположения снегоплавильной установки – Ульяновская ТЭЦ-1 (УлТЭЦ-1). В обычном режиме снег вывозится на сухую

снегосвалку, расположенную в месте рекультивации выработанного карьера Баратаевского месторождения песков (Баратаевская свалка). За начальную точку для сбора снега принята Площадь Ленина с прилегающими улицами центральной части города. Расположение ключевых объектов утилизации снега показано на рис. 2.



Рис. 2. Схема расположения объектов утилизации снега в г. Ульяновск

Расчет экономии топлива на перевозку снега выполнен для следующих условий. Удельный расход топлива автомобиля КамАЗ, используемого для перевозки снега, принят 40 л на 100 км. С учетом доставки снега на ССУ УлТЭЦ-1 расстояние уменьшается более чем на 9 км. Зная количество утилизируемого снега за сезон (19500 и 195000 тонн снега для установки производительностью 65 и 650 тонн снега в час соответственно) и подсчитав необходимое количество рейсов, была определена экономия топлива, которая составляет:

- для установки производительностью 65 тонн снега в час – 76782 литров дизельного топлива (2,8 млн. руб.);
- для установки производительностью 650 тонн снега в час – 767823 литров дизельного топлива (28,8 млн. руб.).

Расчет экономической эффективности проекта реализации ССУ на УлТЭЦ-1 выполнен в соответствии с методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов [6].

Основные технические показатели для двух рассматриваемых технологий представлены в табл. 1.

В расчете учитывалась экономия условного топлива на ТЭЦ, экономия дизельного топлива на вывоз снега автотранспортом, капитальные и эксплуатационные затраты на сооружение и обслуживание ССУ. Результаты оценки экономической эффективности представлены в табл. 2. Все представленные показатели рассчитаны для нормы дисконта 15%.

Таблица 1

Технические показатели рассматриваемых технологий

Величина	Единица измерения	Значение	
		Использование теплоты основного конденсата	Использование теплоты обратной сетевой воды
Величина удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении, $v_{тф}$	кВт·ч/т	41,62	74,91
Годовая экономия условного топлива, ΔB	т у.т.	91,0	2926,0
Площадь поверхности теплообменника, F	м ²	280	7500
Количество воды циркулирующей в снеготопливной камере, $G_{ц}$	т/ч	700	7000
Количество утилизируемого снега, $G_{сн}$	т/ч	65	650
Расход греющего потока	т/ч	350	3500
Температура греющего потока на входе и выходе из теплообменника	°С	100/80	55/35

Таблица 2

Оценка эффективности инвестиций

Показатель	Использование теплоты основного конденсата	Использование теплоты обратной сетевой воды
Капитальные затраты, млн. руб., без НДС в ценах 2016 г.	10,0	115,0
Чистая приведенная стоимость, млн. руб.	9,22	124,1
Внутренняя норма доходности, %	32,97	35,7
Простой срок окупаемости, лет	3,1	2,9
Дисконтированный срок окупаемости, лет	4,5	4,0

Выводы

1. Основными преимуществами использования энергетического потенциала ТЭЦ для утилизации снега является экономия топлива за счет повышения величины удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении, а также сокращение расхода дизельного топлива на вывоз снега автотранспортом.

2. Техничко-экономическое обоснование проекта сооружения ССУ на базе УлТЭЦ-1 выполнено для 2-х установок производительностью 65 и 650 тонн снега в час. По мнению авторов, максимальная производительность по снегу 650 т/ч позволит обеспечить утилизацию снега, вывозимого из двух районов города: Ленинского и Засвияжского.

3. Сравнительный анализ экономической эффективности рассматриваемых проектов показал, что технология использования теплоты обратной сетевой воды имеет большую экономичность при максимальном количестве утилизируемого снега.

Summary

It is shown that the main benefits of use of an energy potential of combined heat and power plant to utilization of snow is the economy of fuel due to increase of size of specific power generation on thermal consumption, and also reducing fuel consumption on snow transportation by motor transport. New technologies of use of low-potential sources of warmth on thermal power plants for snow utilization are offered. Comparative cost effectiveness analysis of developed technologies is made.

Keywords: *technologies of utilization of snow, thermal schemes of combined heat and power plant, the return network water, specific power generation on thermal consumption.*

Литература

1. Замалеев М.М. Использование энергетического потенциала ТЭЦ для нужд коммунального хозяйства / М.М. Замалеев, В.И. Шарапов, И.В. Губин, В.А. Павлов // Труды Академэнерго. 2016. №2. С. 25–38.
2. Замалеев М.М. Проблема утилизации снега в крупных городах / М.М. Замалеев, И.В. Губин, В.И. Шарапов // Сб. науч. трудов науч.-исслед. лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ «Теплоэнергетика и теплоснабжение». Выпуск 11. Ульяновск: ГОУ ВПО «Ульян. гос. техн. ун-т», 2015. С. 141–152.
3. Шарапов В.И. Методика оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловых схемах ТЭС / В.И. Шарапов // Труды Академэнерго. 2015. № 2. С. 27–37.
4. Виноградов С.Н. Выбор и расчет теплообменников: учебное пособие / С.Н. Виноградов, К.В. Таранцев, О.С. Виноградов. Пенза. 2001. 100 с.
5. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Взамен СНиП 2.04.03-85. Москва: Изд-во стандартов, 2013.
6. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов, утвержденные Министерством экономики Российской Федерации, Министерством финансов Российской Федерации и Государственным комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике 21 июня 1999 г. N ВК 477.

Поступила в редакцию

24 июня 2016 г.

Замалеев Мансур Масхутович – канд. техн. наук, доцент кафедры “Теплогазоснабжение и вентиляция” (ТГВ), зам. руководителя НИЛ “Теплоэнергетические системы и установки” (НИЛ ТЭСУ) Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ).

Шарапов Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Теплогазоснабжение и вентиляция” (ТГВ), руководитель научно-исследовательской лаборатории “Теплоэнергетические системы и установки” (НИЛ ТЭСУ) Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ) Тел. 8(960) 373-33-45. E-mail: vlad-sharaspov2008@yandex.ru.

Губин Игорь Викторович – аспирант кафедры “Теплогазоснабжение и вентиляция” (ТГВ), Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). Тел. 8-(902)-002-88-04 E-mail: fotograf91@list.ru.

Павлов Владимир Андреевич – магистрант кафедры “Теплогазоснабжение и вентиляция” (ТГВ) Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ).