

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ТАЯНИЯ СНЕГА НА БАЗЕ ТЕПЛОФИКАЦИИ С ВЫВОЗКОЙ ЕГО НА ОТВАЛЫ

Н. А. ПОПОВ

(Представлена кафедрой промышленной теплоэнергетики и научным семинаром  
теплоэнергетического факультета)

При очистке территории городов от снега требуются значительные затраты средств и автотранспорта на его вывозку на отвалы.

Уменьшение этих затрат путем применения более рациональных методов борьбы со снегом принесет несомненные выгоды городскому хозяйству.

Одним из таких методов может явиться таяние снега на месте вместо его вывозки на отвалы. На рис. 1 приведена принципиальная схема установки по таянию снега. Плавление снега производится в корпусе снеготаялки 1 за счет непосредственного контакта нагретой талой циркуляционной воды со снегом.

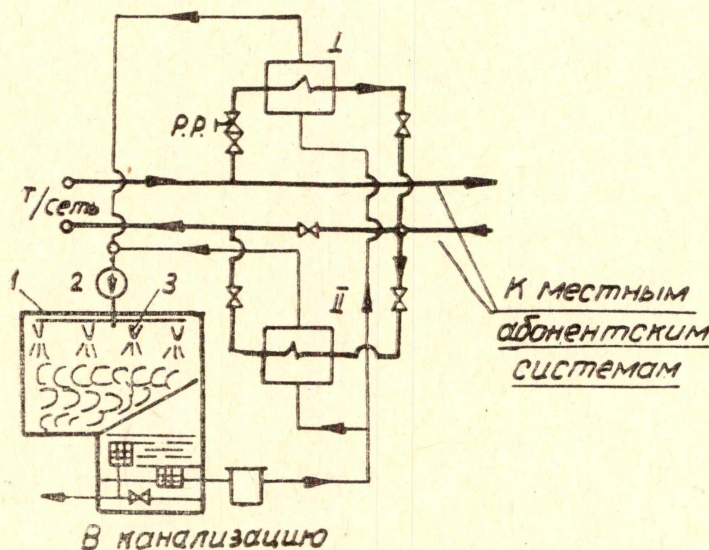


Рис. 1. Принципиальная схема поверхностно-контактной  
установки по таянию снега

Нагрев циркуляционной воды производится в теплообменнике 1 за счет тепла сетевой воды в часы суток, когда отсутствует у абонента тепловая нагрузка горячего водоснабжения и вентиляции, в теплообменнике II — за счет тепла обратной воды из местных систем и теплообменника I.

Циркуляция воды через теплообменники осуществляется насосом 2, а ее разбрызгивание — форсунками 3. Снеготаяние будет экономически целесообразно, когда срок окупаемости дополнительных капитальных вложений в установку по таянию снега  $T$  равняется или меньше нормативного срока окупаемости  $T_n$ .

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется:

$$T = \frac{K_{\text{ст}}}{S_{\text{в}} - S_{\text{ст}}}, \text{ лет} \quad (1)$$

где  $K_{\text{ст}}$  — начальные капитальные вложения в установку по таянию снега, руб;

$S_{\text{в}}$  — годовые эксплуатационные расходы по вывозке снега на отвалы, руб/год;

$S_{\text{ст}}$  — то же при таянии снега, руб/год.

При организации снеготаяния предполагается, что доставка сгребенного снега к снеготаялкам будет осуществляться с помощью бульдозера, имеющего специальный ковш, пристроенный к ножу бульдозера.

Такой бульдозер может не только бульдозировать сгребенный снег, но и одновременно сгребать его.

При этих условиях принимаем расходы по сгребанию снега и его бульдозированию при снеготаянии равными расходам по сгребанию снега и его погрузке на автотранспорт при вывозке.

Тогда годовые эксплуатационные расходы по вывозке и таянию снега запишутся:

$$S_{\text{в}} = s_{\text{в}} \cdot G_{\text{с}}, \quad (2)$$

$$S_{\text{ст}} = S_{\text{а}} + (s_0 + s_{\text{э}} + s_{\text{к}} + s_{\text{т}}) G_{\text{с}}. \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3) обозначено:

$S_{\text{в}}$  — удельные расходы на оплату автотранспорта при вывозке снега, руб/т;

$G_{\text{с}}$  — количество снега, подлежащего вывозке, т/год;

$S_{\text{а}}$  — годовые отчисления от начальных вложений в установку по таянию снега, на амортизацию и ремонт, руб/год;

$s_0$  — удельная стоимость обслуживания рабочим установки по таянию снега, на одну тонну расплавленного снега, руб/т;

$s_{\text{э}}$  — удельная стоимость перекачки талой циркуляционной воды, на одну тонну расплавленного снега, руб/т;

$s_{\text{к}}$  — удельная стоимость канализации талой воды, на одну тонну расплавленного снега, руб/т;

$s_{\text{т}}$  — удельная стоимость тепловой энергии, расходуемой на таяние снега, на одну тонну расплавленного снега, руб/т.

### Определение эксплуатационных расходов

Удельная стоимость расходов на автотранспорт

$$s_{\text{в}} = a + b l_{\text{в}}, \quad \text{руб/т} \quad (4)$$

где  $a$  и  $b$  — некоторые коэффициенты, принимаются в соответствии с тарифными справочниками на перевозку грузов на автотранспорте;

$l_{\text{в}}$  — расстояние до отвалов, км.

Годовые отчисления от начальной стоимости капитальных вложений в установку по таянию снега

$$S_{\text{а}} = f_{\text{ст}} K_{\text{ст}}, \quad (5)$$

где  $f_{\text{ст}}$  — доля ежегодных отчислений в целом по установке принимается 0,06;

$K_{\text{ст}}$  — начальные капитальные вложения при расчетной производительности установки, руб.

Капитальные вложения в установку складываются

$$K_{\text{ст}} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4, \quad (6)$$

где  $K_1$  — стоимость железобетонного корпуса, руб;

$K_2$  — стоимость насосоподогревательной установки, руб;

$K_3$  — стоимость прокладки наружного циркуляционного трубопровода до корпуса снеготаялки, руб;

$K_4$  — стоимость прокладки канализационного трубопровода, руб.

При определении капитальных затрат принималось:

1) Внутренний объем корпуса  $0,85 \text{ м}^3 \cdot \text{ч/т}$ .

2) Стоимость железобетона в укладке  $40 \text{ руб/м}^3$ .

3) Поверхность нагрева теплообменников определена при средней разности температур греющей и нагреваемой среды  $\Delta t_{\text{ср}} = 22^\circ\text{C}$ , коэффициенте теплопередачи  $k = 8,35 \text{ мдж/м}^2\text{ч}^\circ\text{C}$  и составляет  $2 \text{ м}^2$  на одну тонну часовой производительности снеготаялки.

4) Стоимость  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева теплообменников  $50 \text{ руб/м}^2$  [2].

5) Стоимость двухтрубной бесканальной прокладки циркуляционных водоводов

$$K_3 = a_1 + b_1 2 \cdot d \cdot l, \quad (7)$$

где  $d$  — диаметр теплопровода, м;

$l$  — длина наружной трассы, м.

Коэффициенты

$$a_1 = 0 \text{ руб/м}; b_1 = 140 \text{ руб/м}^2 \text{ [2]}.$$

6) Стоимость прокладки канализационной трубы

$$K_4 = 2,0 \text{ руб/м}.$$

7) Длина трассы наружных циркуляционных водоводов и канализации по  $10 \text{ м}$ .

8) Мощность насоса определялась при напоре 5 бар и производительности  $50\%$  от расходов греющей воды.

9) Расход греющей воды

$$G_r^1 \approx 5G_{\text{ст}}^1.$$

Выражая стоимость установки линейной функцией от ее производительности, получим

$$K_{\text{ст}} = a_2 + b_2 G_{\text{ст}}, \quad (8)$$

где  $a_2, b_2$  — коэффициенты, значения которых принимаются

$$a_2 = 400 \text{ руб}; b_2 = 160 \text{ руб} \cdot \text{ч/т}.$$

$G_{\text{ст}}^1$  — расчетная часовая производительность установки по таянию снега, т/ч.

Она находится по минимуму суммы зависимых приведенных затрат в установку и выражается

$$G_{\text{ст}}^1 = \sqrt{\frac{G_c P T_i}{175 b_2 (f_{\text{ст}} + p_n)}}, \quad \frac{m}{r}, \quad (9)$$

где  $G_c$  — количество снега, подлежащего таянию на данной установке, т/ч;

$P$  — заработная плата рабочего, обслуживающего установку, руб/мес;

$T_i$  — затрата времени рабочим на обслуживание установки в течение часа ее работы, ч/ч;  
 $P_n$  — нормативный коэффициент эффективности;  
 175 — число часов работы установки в течение месяца. Удельная стоимость обслуживания установки

$$S_0 = \frac{P \cdot T_i}{175 G_{ст}}, \text{ руб/т.} \quad (10)$$

Удельная стоимость перекачки циркуляционной воды

$$S_9 = \frac{9,8 G'_ц H \cdot z_9}{10^6 G_{ст} \eta_{ц}}, \text{ руб/т} \quad (11)$$

где  $G'_ц$  — расчетный расход циркуляционной воды при данной производительности снеготаялки, т/ч,

$$G'_ц \approx 0,5 G'_г;$$

$G'_г$  — расчетный расход греющей воды при данной производительности снеготаялки, равный

$$G'_г \approx 5 G'_{ст};$$

$H$  — напор циркуляционного насоса, м;

$z_9$  — стоимость электроэнергии, руб/Мдж;

$\eta_{ц}$  — коэффициент полезного действия насоса. Удельная стоимость тепла, расходуемого для таяния снега,

$$S_m = \left[ \frac{(r - C_s t_{н}^{ст})}{10^3 \cdot \eta_{ст}} (1 - f_m) \right], \text{ руб/т,} \quad (12)$$

где  $z_m$  — стоимость тепловой энергии, руб/Мдж;

$\zeta$  — скрытая теплота плавления снега, дж/кг;

$C_s$  — теплоемкость снега, дж/кг $^{\circ}$ С;

$t_{н}^{ст}$  — расчетная температура наружного воздуха для снеготаяния,  $^{\circ}$ С.

Принимается равной средней по продолжительности стояния температуре наружного воздуха на диапазоне от  $t_{н} = 0^{\circ}$ С до  $t_{н}^{ТЭЦ}$   $^{\circ}$ С;

$t_{н}^{ТЭЦ}$  — расчетная температура ТЭЦ,  $^{\circ}$ С;

$\eta_{ст}$  — коэффициент полезного действия снеготаялки, учитывающий потери тепла в окружающую среду и с талой водой, сбрасываемой в канализацию. Его величина на основании предварительных опытов может быть принята 0,9—0,93.

$\varphi_m$  — величина, учитывающая экономию топлива при комбинированном способе производства электрической и тепловой энергии на базе снеготаяния,

$$\varphi_m = 29,3 b_9,$$

29,3 — теплотворная способность условного топлива, Мдж/кг;

$b_9$  — удельная экономия топлива при комбинированной выработке электрической и тепловой энергии на базе снеготаяния, кг/Мдж.

Сравнение вариантов покажем на частном примере для г. Томска. Для условий г. Томска можем принять:  $P_{отб} = 1,2$  бар;  $Z_k = 0,03$  руб/т;  $a = 0,43$  руб/т;  $b = 0,11$  руб/т · км;  $a_2 = 400$  руб;  $b_2 = 160$  руб · ч./т;  $G'_ц = 0,5 G'_г$ ;  $G'_г = 5,0 G'_{ст}$ ;  $P = 80$  руб/мес;  $T_i = 1,0$  ч/ч;  $H = 50$  м;  $z_9 = 0,0028$  руб/Мдж;  $\eta_{ст} = 0,9$ ;  $z_t = 0,0006$  руб/Мдж;  $t_{н}^{ТЭЦ} = -14^{\circ}$ С;  $t_{н}^{ст} = -7^{\circ}$ С;  $\varphi_t = 0,8$ ;  $\eta_{н} = 0,3$ ;  $f_{ст} = 0,06$ ;  $P_n = 0,125$ .

На основании произведенных расчетов построены графики, изображенные на рис. 2 и 3.

На рис. 2 приведена зависимость срока окупаемости дополнительных затрат в установку по таянию снега от годовой производительности отдельной снеготаялки и расстояний вывозки снега на отвалы.

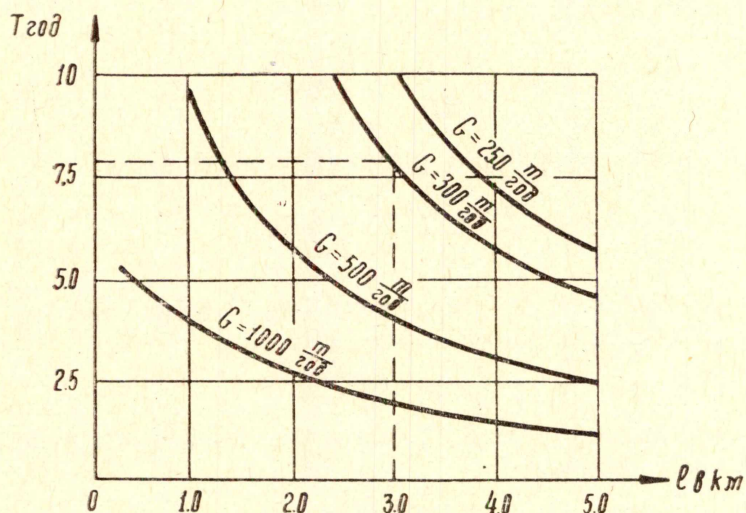


Рис. 2. Срок окупаемости капитальных вложений в установку по таянию снега при различной ее годовой производительности в зависимости от расстояния вывозки снега на отвалы

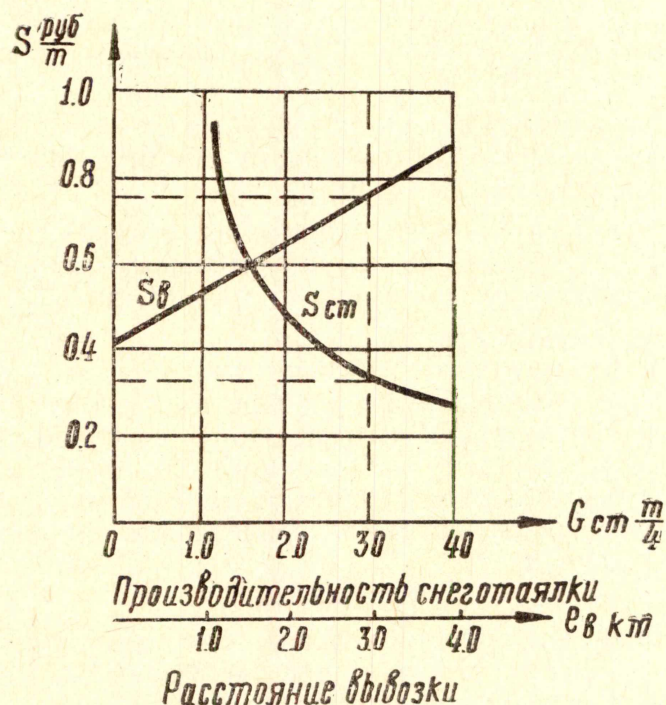


Рис. 3. Удельные стоимости таяния и вывозки снега на отвалы

Из графика видно, что чем больше годовая производительность снеготаялки, тем меньше срок окупаемости капитальных затрат. Для условий г. Томска при среднем расстоянии до отвалов в 3 км срок окупаемости в установку по таянию снега будет ниже нормативного срока  $T_n = 8$  лет, при производительности отдельной снеготаялки 300  $\frac{т}{год}$  и выше.

На рис. 3 дано сравнение удельных стоимостей вывозки и таяния снега. При производительности снеготаялки более 160 т/год, стоимость таяния снега начинает резко снижаться по сравнению с его вывозкой.

### Заключение

1) Как показывают произведенные исследования, снеготаяние на базе теплофикации технически осуществимо и экономически целесообразно.

2) Для решения ряда вопросов, связанных с организацией снеготаяния, необходимо получение некоторых данных из опыта работы на промышленной установке. В частности, только путем хронометрирования можно установить оптимальную площадь убираемой территории и, следовательно, количество снега, которым определяется расчетная производительность единичной снеготаялки, затраты времени рабочим при обслуживании ее и др.

3) Как показывает опыт эксплуатации систем теплоснабжения в большинстве тепловых сетей городов, температура обратной воды, возвращаемой от потребителей на ТЭЦ, превышает температуру, заданную графиком на 10—20°C и более. Ее снижение в установках по таянию снега будет являться положительным фактором в повышении качественных показателей работы систем теплоснабжения.

4) Необходимо, за счет дополнительной экономии средств при выработке электрической энергии комбинированным способом, в целях стимулирования внедрения снеготаяния на базе теплофикации установить пониженные тарифы на тепло, отпускаемое для этих целей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Никитин. Снеготаялки. Изд. МКХ РСФСР, М. 1952.
  2. Е. Я. Соколов. Теплофикация и тепловые сети. Госэнергоиздат, М., М.—Л., 1963.
-