

5. Увеличение КПД печи – один из путей экономии топлива и повышение содержание CO_2 в отходящих газах. Значительного повышения содержания CO_2 в отходящих газах можно достигнуть уменьшением количества азота, поступающего в печь с воздухом. Уменьшение количества воздуха, необходимого для процесса горения, невозможно. Поэтому единственным мероприятием, обеспечивающим уменьшение количества азота, поступающего в печь, является подача в нее воздуха, обогащенного кислородом. Содержание кислорода в этом обогащенном воздухе доходит до 42%, при этом содержание CO_2 в газах, отходящих из печи, доходит до 60%.

6. Для обеспечения непрерывности процесса разложения необходимо в течение всего периода обжига поддерживать температуру, требуемую для начала разложения, т.к. в противном случае процесс разложения прекратится. В самом деле, при нагреве известняка до температуры разложения углекислого кальция постепенно будет образовываться некоторое количество CaO и CO_2 . Процесс разложения CaCO_3 сопровождается расходом некоторого количества тепла, и если известь не будет подводиться тепло в количестве, необходимом для покрытия расхода, связанного с разложением CaCO_3 , то температура куска известняка понизится, и реакция разложения прекратится, т.е. прекратится и процесс обжига известняка.

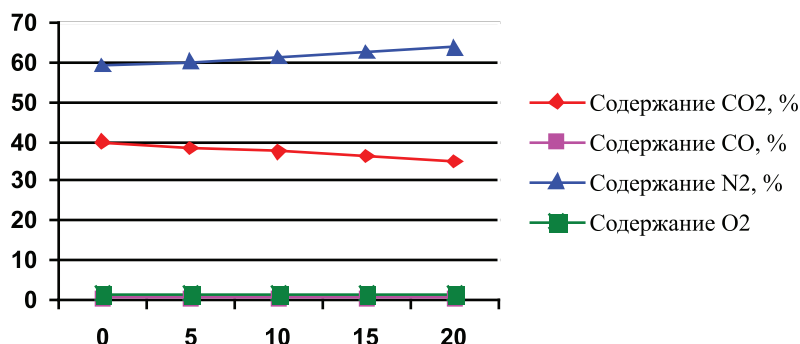
Объем выделяющегося при разложении известняка CO_2 во много раз больше объема углекислого кальция. По теоретическим расчетам 1 кг известняка выделяет такое количество CO_2 , объем которого при 900°C и атмосферном давлении составляет 962 л, а при температуре 1200°C – 1200 л [2].

Таким образом, нужно стремиться к поддержанию температур, необходимых для процесса раз-

ложения. Температура обжига является основным фактором, определяющим производительность известково-обжигательной печи.

Если на сжигание топлива подавать подогретый воздух, то физическая теплота его вносится в процесс горения и в результате уменьшается расход топлива. Следует обратить внимание также на то, что каждая единица теплоты, вносимая с подогретым воздухом, идущим на сжигание топлива, более ценна, чем полученная от горения топлива, поскольку только часть последней используется в рабочем пространстве агрегата, а другая часть (нередко большая) уходит с отходящими газами. Скорость горения газозвуш-ных смесей растет с повышением их температуры; пределы воспламенения также расширяются, что улучшает процесс выгорания горючих составляющих и уменьшает необходимые расходы воздуха. Даже при сжигании такого высококалорийного газа, как природный, для создания интенсивного нагрева необходимо подавать нагретый до $300\text{--}400^\circ\text{C}$ воздух; подогрев газа большей частью нецелесообразен ввиду его меньшего объема по сравнению с объемом воздуха.

7. Наличие влаги в пределах, в каких она обычно бывает в известняке, практически не влияет на процесс обжига, но присутствуя в больших количествах, она вызывает увеличение расхода топлива и снижает концентрацию CO_2 в отходящих газах, что очень важно для ряда отраслей промышленности, использующих CO_2 . Установлено, что каждый процент влаги снижает концентрацию CO_2 в отходящих газах на 0,24%. В зимнее время влияние влажности сырья становится еще более неблагоприятным, так что может возникнуть необходимость сушки мела с использованием при этом тепла отходящих печных газов.



Изменение состава отходящих газов в зависимости от содержания влаги в известняке

Проанализировав данные диаграммы, видим, что с увеличением влажности известняка содержание CO_2 , необходимого для других производств (например, содового производства) падает, а содержание CO , N_2 и O_2 увеличивается, что неблагоприятно сказывается на окружающей среде. Следовательно, необходимо стремиться к уменьшению содержания влаги в известняке.

Из ранее изложенного можно сделать вывод, что существует большое количество способов по снижению энерго- и топливозатрат при производстве извести, имеющих свои сильные и слабые стороны. Однако, наибольший экономический эффект даст способ, основанный на комплексном (ступенчатом) использовании теплоты продуктов сгорания и полном использовании всех «побочных продуктов» производства извести.

Список литературы

1. Донцов Д.П., Кочева М.А. Исследование работы газогенераторов на базе вузовской установки / Д.П. Донцов, Кочева М.А. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012, № 9. с. 43-44.
2. Шанин Б.В., Новгородский Е.Е., Широков В.А. Энергосберегающие установки в промышленности и защита воздушного бассейна. – Н.Новгород: Волго-Вятское кн. изд-во, 1991. – 256 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ГРУНТА ОТ ТЕПЛОТЫ, ТЕРЯЕМОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИЕЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Козлов С.С., Козлов Е.С.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, e-mail: sskozlov@mail.ru

Существующие методы расчета мощностей систем отопления подземных и обсыпных сооружений

в целях упрощения вычислительных работ не учитывают влияния толщины ограждающих конструкций и разницы в значениях теплофизических характеристик ограждающих конструкций и грунтового материала (массива). Возможность такого упрощения объясняется соизмеримостью теплофизических характеристик конструкций и грунтов. Поэтому величина относительных ошибок расчетных температур внутренних поверхностей и воздуха рассматриваемых помещений может быть определена аналитически при условии равенства теплофизических характеристик ограждающих конструкций и грунта.

Постановка задачи. Подземные или обсыпные сооружения выполняются, как правило, в виде параллелепипеда большой протяженности. Принимаемые в практике проектирования расчетные формулы для определения мощности систем отопления таких помещений содержат в своей основе точные аналитические зависимости. В связи с этим исследования изменений величин относительных ошибок расчетных температур внутренних поверхностей и воздуха помещений проведем путем сравнения результатов общих решений точных аналитических задач для полупространства и помещений прямоугольного сечения, ограниченных слоем однородного вещества (двухслойная задача) и не имеющих этого слоя (однослойная задача).

Решение задачи. При выводе расчетных зависимостей относительных ошибок температур поверхностей ограждающих конструкций и воздуха материалохранилищ, в случае условного равенства значений теплофизических характеристик грунта и ограждающих конструкций, воспользуемся зависимостями для определения мощности систем отопления.[1]

1. В случае равенства характеристик ограждающих конструкций и грунта количество теплоты, которое необходимо подвести в сооружение для получения расчетной температуры поверхности в конце выбранного периода теплообмена Q_{Π} , Вт, равно:

$$Q_{\Pi} = K_{\Pi} F(t_{\Pi(\tau)} - t_{\Pi(0)})\tau, \quad (1)$$

где K_{Π} – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C):

$$K_{\Pi} = \frac{\lambda f}{1,13\sqrt{\tau a}}, \quad (2)$$

λ – теплопроводность материала, Вт/(м²·°C); f – коэффициент, учитывающий геометрическую форму и размеры сооружения, влияние теплофизических характеристик грунта и период теплообмена [2]:

$$f = 0,94 + 0,734 \frac{L}{F} \sqrt{a\tau} + 0,406\tau \frac{n}{F} a \quad (3)$$

L – суммарная длина всех двугранных углов хранилища, м; F – суммарная площадь всех плоских ограждающих конструкций сооружения, м²/с; a – температуропроводность материала, м²/с; t – расчетный период теплообмена, с; n – число примыкающих к грунтовому массиву трехгранных углов.

Количество теплоты, которое необходимо подвести в хранилище для получения расчетной температуры воздуха в конце выбранного периода теплообмена, Q_B , Вт, составляет:

$$Q_B = K_B F(t_{B(\tau)} - t_{B(0)})\tau, \quad (4)$$

где K_B – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C):

$$K_B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1,13\sqrt{\tau a}}{\lambda f}} \quad (5)$$

α_B – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C).

2. В случае различия теплофизических характеристик грунта и ограждающих конструкций получим аналогично Q'_{Π} и Q'_B :

$$Q'_{\Pi} = K'_{\Pi} F(t'_{\Pi(\tau)} - t_{\Pi(0)})\tau; \quad (6)$$

$$Q'_B = K'_B F(t'_{B(\tau)} - t_{B(0)})\tau, \quad (7)$$

где

$$K'_{\Pi} = \frac{\lambda_1 f}{4S\sqrt{a_1\tau}}; \quad (8)$$

$$K'_B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{4S\sqrt{a_1\tau}}{\lambda_1 f}}. \quad (9)$$

Расчетная формула для определения относительной погрешности температуры поверхностей ограждающих конструкций определяется равенством $Q'_{\Pi} = Q'_{B}$ или в соответствии с (1) и (6):

$$K_{\Pi} F(t_{\Pi(\tau)} - t_{\Pi(0)})\tau = K'_{\Pi} F(t'_{\Pi(\tau)} - t_{\Pi(0)})\tau \quad (10)$$

Обозначая $t_{\Pi(\tau)} - t_{\Pi(0)} = \Delta t_{\Pi}$, а $t'_{\Pi(\tau)} - t_{\Pi(0)} = \Delta t'_{\Pi}$ и решая (10) относительно $\frac{\Delta t_{\Pi}}{\Delta t'_{\Pi}}$, получим с учетом выражений (2) и (8) [3]:

$$\frac{\Delta t_{\Pi}}{\Delta t'_{\Pi}} = \left(\frac{\lambda_1 \rho_1 c_1}{\lambda \rho c} \right)^{\frac{1}{\sqrt{Fo_1} + 1}}; \quad (11)$$

$$\delta_{t_{\Pi}} = \left[1 - \left(\frac{\lambda_1 \rho_1 c_1}{\lambda \rho c} \right)^{\frac{1}{\sqrt{Fo_1} + 1}} \right] \cdot 100\%. \quad (12)$$

По аналогии со сказанным выше при $t_{B(\tau)} - t_{B(0)} = \Delta t_B$ и $t'_{B(\tau)} - t_{B(0)} = \Delta t'_B$:

$$\frac{\Delta t_B}{\Delta t'_B} = \frac{\lambda_1 \lambda f + 1,13\alpha_B \lambda_1 \sqrt{a\tau}}{\lambda_1 \lambda f + 1,13\alpha_B \lambda_1 \sqrt{a\tau} \left(\frac{\lambda \rho c}{\lambda_1 \rho_1 c_1} \right)^{\frac{\sqrt{Fo_1} - 1}{2(\sqrt{Fo_1} + 1)}}} \quad (13)$$

и в окончательном виде:

$$\delta_{t_B} = \left\{ \frac{1,13\alpha_B \sqrt{\tau} \left[\left(\frac{\lambda \rho c}{\lambda_1 \rho_1 c_1} \right)^{\frac{1}{\sqrt{Fo_1} + 1}} - 1 \right]}{f \sqrt{\lambda \rho c} + 1,13\alpha_B \sqrt{\tau} \left(\frac{\lambda \rho c}{\lambda_1 \rho_1 c_1} \right)^{\frac{1}{\sqrt{Fo_1} + 1}}} \right\} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Анализ результатов расчета. Применение расчетных формул для определения мощности систем отопления, не учитывающих различия в теплотехнических характеристиках материалов ограждающих конструкций и грунта, может привести к значительным отклонениям фактических температур внутренних поверхностей и воздуха рассматриваемых помещений от расчетных. Из расчетных формул (12) и (14) следует: увеличение критерия Фурье приводит к уменьшению относительных ошибок расчетных температур; увеличение отношения $(\lambda_1 \rho_1 c_1)/(\lambda \rho c)$ сопровождается увеличением относительной ошибки

расчетной температуры поверхности ограждающих конструкции δt_p ; уменьшение величины отношения $(\lambda \rho c) / (\lambda_1 \rho_1 c_1)$ приводит к увеличению относительной погрешности температуры внутреннего воздуха δt_v .

На основе натуральных исследований построим график поля температур в грунтовом массиве прилегающий к ограждающей конструкции рисунке, руко-

водствуясь значения температуры в точках замера (в сентябре и январе) показанные в таблице.

Расчеты и натурные исследования позволяют получить более точные данные о действительных потерях теплоты, которые на 40-60% меньше, чем при расчете по методике, изложенной в нормативных документах и в литературе, где расчет основан лишь на стационарном режиме теплопередачи.

Значения температуры в замерных точках

Глубина заложения датчика	Показания температуры			
	а	б	в	г
за сентябрь				
1	5,7	6,3	6,6	7
2	6	6,55	6,83	7,17
3	6,5	6,98	7,22	7,45
4	7	7,41	7,62	7,74
5	7,25	7,7	7,9	8,02
6	7,43	7,95	8,15	8,3
7	7,62	8,2	8,4	8,58
8	7,81	8,45	8,65	8,86
за январь				
1	1,2	-1,5	-1,7	-1,7
2	1,35	-1,3	-1,48	-1,5
3	1,6	-0,98	-1,12	-1,18
4	1,85	-0,67	-0,78	-0,86
5	2,17	0,22	0,15	-0,05
6	2,51	1,25	1,21	0,88
7	2,86	2,28	2,27	1,82
8	3,2	3,31	3,33	2,76

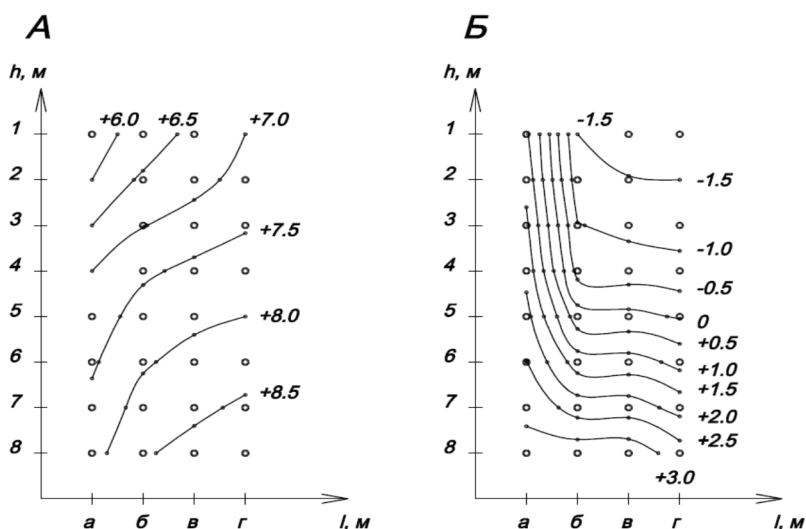


График температурных полей (А – за сентябрь, Б – за январь)

Для различных периодов теплообмена, характерных для материалохранилищ, фактические температуры поверхностей ограждающих конструкций и внутреннего воздуха будут соответственно для δt_p на 160%, 111%, 84%, а для δt_v на 80,3%, 74,5%, 61,3% ниже расчетных.

Данный факт следует учитывать при расчете мощностей систем обеспечения параметров микроклимата подземных и обсыпных сооружений.

Список литературы

1. Гусев В.С. Методы теплотехнических расчетов по обеспечению микроклимата в сооружениях гражданской обороны. / В.С. Гусев. – М.: Стройиздат, 1976.–160 с.:ил.
2. Довлетхель, Р.К. В сб. Специальные вопросы строительной теплофизики, № 1. М., 1965.
3. Лыков, А.В. Теплопроводность нестационарных процессов. / А.В. Лыков, – М., 1948. –232 с.

**ВЛИЯНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И ГРУНТА
НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ПОДЗЕМНЫХ
ТЕПЛОТРАСС**

Кольчатов Е.Ю., Кочева М.А.

*Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет,
Нижегний Новгород, e-mail: kol4atov@yandex.ru*

Действующие тепловые сети не удовлетворяют современным требованиям надежности и долговечности ни по качеству строительных конструкций теплопроводов, ни по теплофизическим показателям, т.е. нормативное значение потерь теплоты не обеспечивается. На практике часто встречаются случаи непоправимо высоких потерь теплоты, увеличенных по сравнению с нормативными в 2-4 раза.

Основными причинами отклонения от проектных режимов работы теплосетей являются увлажнение изоляции и грунта из-за нарушения целостности строительной и изоляционной конструкций теплопроводов, быстрое старение и разрушение практически всех применяемых видов теплоизоляционных материалов.

В связи с этим представляет интерес оценить влияние объемной влажности грунта и изоляции на тепловые потоки в зоне подземных канальных и бесканальных теплопроводов.

Поскольку процессы теплопереноса в этих условиях характеризуются многими переменными, их детальное параметрическое исследование весьма затруднено, и поэтому ниже представлен лишь ряд типичных частных случаев.

Определение величин линейных тепловых потерь qL Вт/м, производилось на основе расчётных схем, описанных в [1, 2]. Зависимость коэффициентов теплопроводности грунта (суглинок) и тепловой изоляции от объёмной влажности принимались по данным [3].

Для удобства анализа, все графики характеризуются следующими одинаковыми исходными данными: диаметры теплопроводов – 0,3 м; глубина заложения – 1,5 м; толщина слоя изоляции – 0,06 м; толщина покровного слоя – 0,005 м. Температура наружного воздуха, а также температуры в подающем и обратном трубопроводах соответственно равны: –1,1; 88; 38 °С.

На рис. 1. показаны величины тепловых потерь канальной прокладки в зависимости от объёмной влажности изоляции W_i и грунта W_g . Материал изоляции – минеральная вата (так как именно она подвергается увлажнению лучше всего); размеры канала в свету – 2,0 x 1,0 м, при толщине стенок канала – 0,1 м. Коэффициент теплопроводности стенок канала – 1,0 Вт/(м·К).

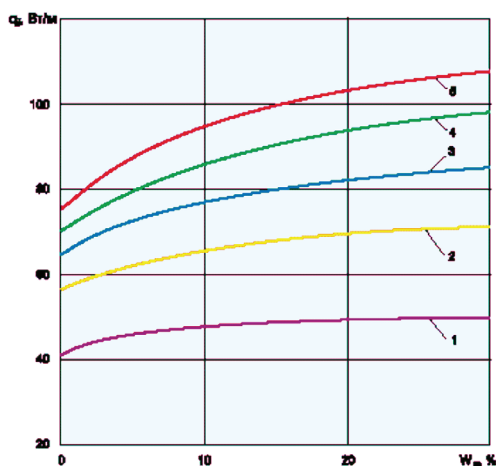


Рис. 1. Влияние объёмной влажности грунта и изоляции на величину линейных тепловых потерь канальной прокладки: 1 – $W_g=0\%$; 2 – $W_g=6\%$; 3 – $W_g=12\%$; 4 – $W_g=25\%$; 5 – $W_g=50\%$

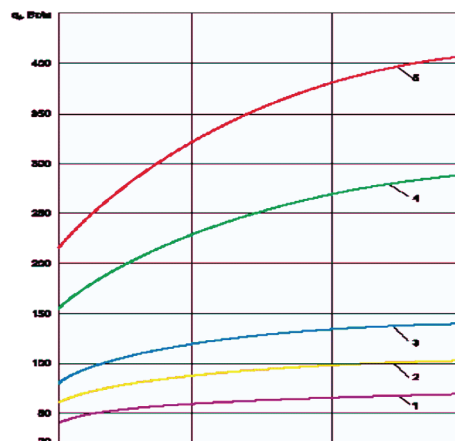


Рис. 2. Линейные тепловые потери при различных режимах работы канальной прокладки

Рис. 2. характеризует величины тепловых потерь при различных режимах работы канальной прокладки с одновременным увлажнением грунта от 0 до 30 %. Здесь приведены следующие случаи: нормальный режим работы (кривая 1); отсутствие изоляции на обратном трубопроводе (кривая 2); отсутствие изоляции на подающем трубопроводе (кривая 3); отсутствие изоляции а обоих трубопроводах (кривая 4); затопление канала из обратного трубопровода (кривая 5).

Из графиков следует, что увеличение объёмной влажности грунта W_g от 0 до 50%, когда $W_u=0\%$ вызывает рост тепловых потерь в 1,83 раз, когда $W_u=15\%$, – в 2,08 раз, когда $W_u=30\%$, – в 2,16 раз.

При проведении численных экспериментов в вариантах затопления канала сетевой водой величина коэффициента теплоотдачи от покровного слоя к воде и от воды к стенке канала принималась равной 100 Вт/(м²·К).

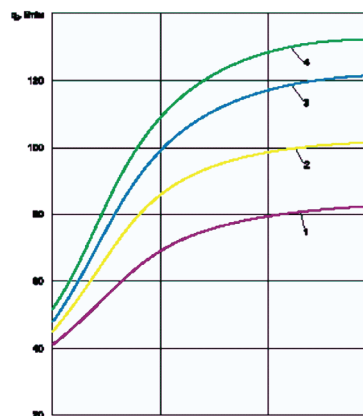


Рис. 3. Влияние объёмной влажности грунта и изоляции на величину линейных тепловых потерь бесканальной прокладки: 1 – $W_u=0\%$; 2 – $W_u=4\%$; 3 – $W_u=8\%$; 4 – $W_u=12\%$;