

Формирование температурного поля грунтов у зданий и сооружений

Доктором технических наук, профессором А.Г. Сотниковым в работе [1] было инициировано обсуждение важной и актуальной для условий современного строительства проблемы расчёта температурного режима подземной части отапливаемых и охлаждаемых зданий, а также расчёта оснований культивационных сооружений, обогреваемых футбольных полей, ледовых полей закрытых и открытых катков, тоннелей метро и т.д.

Основоположник методики расчёта потерь теплоты через полы и заглублённые части зданий профессор В.Д. Мачинский в соответствии с уровнем развития теории теплопроводности 1930-х годов создал методику расчёта «по зонам», которая с позиций современного состояния знаний в области теоретической теплотехники обладает рядом существенных недостатков и, как показали проведённые нами натурные измерения, имеет приближение к параметрам реальных физических процессов $\pm 300\%$. Наши исследования в этой области базируются на решении численными методами нелинейного уравнения теплопроводности:

$$c_v(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial z} \right] + w(x, y, z) r \frac{\partial i}{\partial \tau}, \quad (1)$$

где c_v — объёмная теплоёмкость грунта или элемента конструкции в расчётной области, Дж/(м³·К); x, y, z — пространственные координаты; τ — время; t — температура в расчётной точке массива; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); w — влажность грунта или другого элемента расчётной области, кг/м³; i — льдистость (отношение массы льда к общему содержанию воды в рассматриваемом объёме расчётной области); r — теплота фазовых переходов «вода-лёд» в условиях промерзания-протаивания грунтов

В [1] инициировано обсуждение актуальной проблемы расчёта температурного режима подземной части отапливаемых и охлаждаемых зданий, а также оснований культивационных сооружений, обогреваемых футбольных полей, ледовых полей катков, тоннелей метро и т.д.

или других элементов расчётного массива, Дж/кг. При решении уравнения (1) параметры c_v , λ и $w(x, y, z)$ могут быть назначены на основании результатов гидрогеологических изысканий в месте строительства и известных зависимостей теплофизических коэффициентов грунтов и других элементов расчётного массива от их вида, влажности, плотности, температуры и т.п. Уравнение (1) может решаться и для условий вечномёрзлых грунтов.

Следует согласиться с утверждением профессора А.Г. Сотникова, что методика расчёта, построенная на решении уравнения (1), относится к сложным и доступна только узкому кругу профессионалов. Однако уравнение (1) адекватно отражает реальные физические процессы. На основании наших натурных экспериментов установлено, что результаты его решения отличаются от фактически замеренных параметров на величину $\pm 20\%$.

Современные вычислительные средства и уровень развития численных методов решения дифференциальных уравнений позволяют успешно решать эту задачу уже после достаточно короткой самоподготовки или после изучения соответствующих пакетов программ. Безусловно, что для широкого пользователя методика расчёта конкретных параметров теплопередачи в сложных объектах может быть представлена только в виде удобного и понятного в использовании программного модуля.

УДК 697.1:536.2:692.53

Формирование температурного поля грунтов у здания и потери теплоты через полы по грунту и заглублённые части стен

П. И. Дячек, д.т.н., профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; С. А. Макаревич, к.т.н.; Д. Г. Ливанский, магистр технических наук, Белорусский национальный технический университет (БелНТУ)

С использованием численных методов решено уравнение теплопроводности массива грунта, сопрягающегося с полами и заглублёнными частями зданий. Проведено исследование влияния определяющих факторов на процессы теплопередачи. Предложена новая инженерная методика расчёта потерь теплоты через полы по грунту и заглублённые части стен. Полученные данные использованы в качестве основы для разработки нового нормативного документа для строительства.

Ключевые слова: теплопроводность, численные методы, полы и заглублённые части зданий, потери теплоты, методика расчёта.

UDC 697.1:536.2:692.53

Ground temperature array formation close to building and heat losses through floor and buried wall constructions

P. I. Dziachek, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of heat and ventilation; S. A. Makarevich, PhD; D. G. Livanskij, master of technical science, Belarusian national technical University (BelNTU)

Applying finite-difference method an equation of heat transfer in ground surrounding floor and buried wall construction was solved. Influence factors on heat transfer were investigated. New engineering technique for heat losses calculation through floor and buried wall constructions was elaborated. The results were used as basis for preparation of new building code.

Keywords: thermal conductivity, numerical methods, floors and recessed parts of buildings, heat loss, method of calculation.

Современный уровень знаний в области грунтоведения, метеорологии, а также процессов тепло- и массопереноса позволил провести изучение рассматриваемой проблемы.

Грунт является сыпучим капиллярно-пористым материалом. Он образован частицами различного размера и химического состава. Размер частиц в первом приближении определяет принадлежность грунта к пескам, супесям, суглинкам и глинам. В поверхностном слое грунтов, называемом почвой, находятся органические примеси. В торфяниках объём органических примесей и не сгнивших растительных остатков значительно выше. Здесь не будем рассматривать варианты строительства зданий на скальных, обломочных и крупнообломочных породах. Принадлежность грунта к одной из перечисленных выше групп определяет характер его водного режима и поведения воды в порах.

Свойства грунтов и их водный режим меняются по глубине. Влагосодержание грунта увеличивается по мере углубления и на уровне горизонта грунтовых вод достигает максимального значения. В этом слое и ниже все поры заполнены водой. Над горизонтом грунтовых вод влажностный режим подвержен влиянию режима погоды и имеет свои особенности в каждый период года.

Вода в процессе промерзания (протаивания) меняет фазовое состояние, а значит, и теплопроводность грунта в целом, так как теплопроводность воды составляет $\lambda = 0,6 \text{ Вт/(м·К)}$, а льда — $2,3 \text{ Вт/(м·К)}$. Промерзание (протаивание) грунта сопровождается выделением (поглощением) теплоты фазовых переходов. Теплота фазовых переходов «вода-лёд» составляет $r \approx 335 \text{ кДж/кг}$.

Вода в грунтах содержит растворённые вещества, что также вносит определённые изменения в характер поведения водного раствора. Температура начала замерзания воды в порах грунта ниже 0°C ($t_{\text{нз}} < 0^\circ\text{C}$). Значение $t_{\text{нз}}$ зависит от состава и концентрации растворённых в воде веществ. В зависимости от вида грунта изменяется в интервале $-3 \dots -0,3^\circ\text{C}$. Значение $t_{\text{нз}} = -0,3^\circ\text{C}$ характерно для песков. При увеличении количества растворённых веществ уменьшается и теплота фазовых переходов «вода-лёд». Сложный характер связи воды с остовом грунта приводит и к сложному характеру процесса её замерзания в порах. При $t \leq t_{\text{нз}}$ начинает замерзать влага, находящаяся в физико-механической связи с твёрдыми составляющими (каркасом) грунта. По мере снижения температуры в кристаллическое состояние начинает переходить влага, находящаяся в физико-химической связи с каркасом. При этом мономолекулярные слои, связанные с поверхностью капилляров, замерзают при более низких температурах, а верхние полимолекулярные слои замерзают при более высоких температурах.

П.И. Дяченко для определения льдистости грунтов в интервале температур $t_{\text{нз}}$ до -20°C на основании литературных данных получена зависимость:

$$i = \frac{M_{\text{л}}}{M_{\text{о}}} = \frac{1}{\sqrt{a(2t_{\text{нз}} - t)^b + 1}}, \quad (2)$$

где i — льдистость грунта; $M_{\text{л}}$ — масса льда в порах, кг/м^3 ; $M_{\text{о}}$ — общее содержание воды в грунте, кг/м^3 ; a и b — эмпирические коэффициенты: для песка $a = 0,077$ и $b = -1,12$, для супесей и суглинков $a = 6,36$ и $b = 0,67$, для глины

$$a = \frac{4,55}{333M_{\text{о}}^5 + 0,083}, \quad b = -0,67.$$

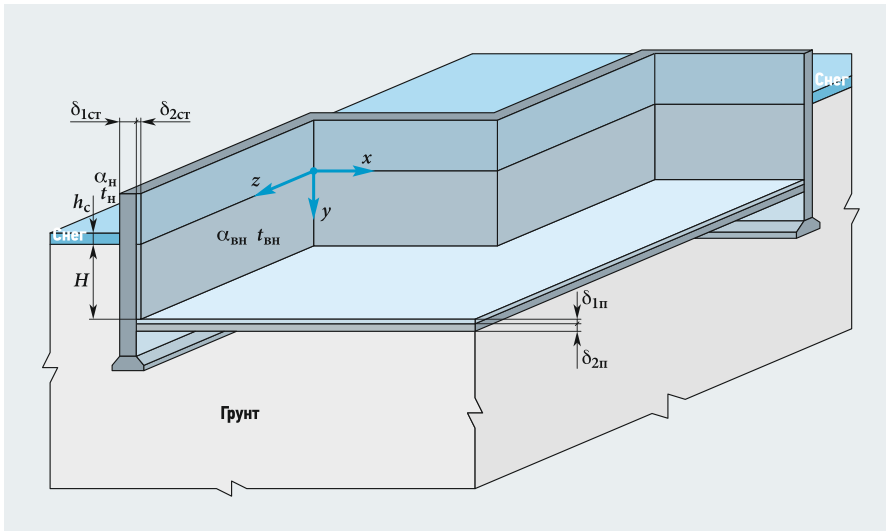


Рис. 1. Схема расчётной области для заглублённого здания

Таким образом, задача о переносе теплоты в грунтах должна решаться с учётом изменения по глубине теплофизических коэффициентов, вариации этих коэффициентов в зависимости от вида и влажности грунта, зависимости их от температуры, а также с учётом выделения теплоты фазовых переходов при замерзании или таянии грунтовой влаги. При этом применительно к грунтам нельзя говорить о решении задачи Стефана, промерзание-протаивание осуществляется в интервале температур.

Сложный характер имеет и процесс взаимодействия грунтов с окружающей средой. Перенос теплоты на границе «грунт-воздух» формируется с участием:

- конвективного тепло- и массопереноса в воздухе приземного слоя;
- излучения с поверхности грунта в мировое пространство (с учётом состояния атмосферы и, прежде всего, влажности воздуха в приземном слое, а также облачности небосвода);
- излучения солнца на внешнюю поверхность расчётной области;
- испарения или конденсации влаги на поверхности земли;
- формирования и схода снежного покрова, режима дождя.

В работах по теплофизике почв и грунтов [3] показано, что годовая амплитуда колебаний температуры наружного воздуха распространяется на глубину 6–18 м. Следовательно, изменения температуры наружного воздуха в годовом цикле режима погоды могут сказываться на формировании температурного режима полов или заглублённых частей здания примерно на этой же длине по линии тока теплоты. Расчёты и экспериментальные исследования показали, что ощутимое влияние годовых изменений темпе-

ратуры наружного воздуха ощущается на расстоянии до 6 м по линии тока теплоты через массив грунта.

Важно отметить, что имеется запаздывание в передаче изменений температуры наружного воздуха к внутреннему объёму. На некотором расстоянии от поверхности грунта по линии тока теплоты в летний период года будет ощущаться влияние температур более холодного периода, а в зимний период — влияние температур предшествующего более тёплого

В работе [3] показано, что годовая амплитуда колебаний температуры наружного воздуха распространяется на глубину 6–18 м. Следовательно, изменения температуры наружного воздуха в годовом цикле режима погоды могут сказываться на формировании температурного режима полов или заглублённых частей здания примерно на этой же длине по линии тока теплоты

периода года. На расстоянии более 6 м от края здания с управляемым внутренним температурным режимом температурное поле грунта будет формироваться под воздействием среднегодовой температуры наружного воздуха.

Наличие запаздывания накладывает особые требования на устройство системы отопления (или вентиляции) внутренних помещений, пол которых сопряжён с грунтом [2] (рис. 1).

При решении уравнения (1) краевые условия назначались исходя из анализа характера физических процессов пере-

носа теплоты для конкретной плоскости, ограничивающей расчётную область.

Следует отметить, что применительно к данной задаче начальные условия, то есть $t(x, y, z, 0)$, могут быть заданы только некорректно. Действительно, трёхмерное температурное поле грунта в пределах какого-то объёма, прилегающего к зданию, не может быть определено без дорогостоящих и трудоёмких измерений.

По этой причине функция $t(x, y, z, 0)$ назначалась произвольно в пределах интервала температур $t_{вн} - t_{н}$ в виде $t(x, y, z, 0) = \text{const}$.

Для исключения влияния её на искомые значения температуры и теплового потока для расчётного периода осуществлялась «прогонка» температурного поля в течение трёх виртуальных лет предшествующего периода. Численными экспериментами установлено, что после расчётного цикла, равного трём виртуальным годам, начальное температурное поле не влияет на значение температуры в любой точке расчётной области.

Численное решение (1) может быть получено с применением метода сеток или с помощью метода конечных элементов. Нелинейность температурных процессов, обусловленная зависимостью теплофизических коэффициентов от температуры и процессом промерзания-протаивания грунтов, разрешена с помощью включения в алгоритм итерационных циклов.

При решении (1) принята следующая аналитическая модель изменения температуры наружного воздуха (рис. 2):

$$t(\tau) = t_{cp} + \Delta t_{мес} + \Delta t_{пер} = t_{cp} + \frac{t_{max} + t_{min}}{2} \cos \left[\frac{2\pi}{365} (\tau - \tau_{tmax}) \right] + (t_{min}^{сут} - t_{min}) \sin \left(\frac{\pi \tau_1}{T_n} \right), \quad (3)$$

где $t(\tau)$ — среднесуточная температура наружного воздуха, °C; τ — время в сутках, отсчитываемое от первого января текущего года; t_{cp} — среднегодовая температура наружного воздуха для района строительства, °C; $\Delta t_{мес}$ — отклонения температуры наружного воздуха от t_{cp} , вызванные ходом изменения среднемесячных температур, °C; $\Delta t_{пер}$ — отклонения температуры наружного воздуха от $t_{cp} + \Delta t_{мес}$, вызванные изменениями хода среднесуточных температур вследствие случайных изменений режима погоды (потеплений или похолоданий), °C; t_{max} и t_{min} — среднемесячные температуры самого жаркого и самого холодного месяца, соответственно, °C; $t_{min}^{сут}$ — время в сутках наступления максимальной среднемесячной температуры наружного воздуха, отсчитываемое от первого

января; $t_{\min}^{\text{сут}}$ — температура самых холодных суток, °C; τ_1 — время в сутках, отсчитываемое от начала периода резкого отклонения среднесуточных температур от режима среднemesячных температур; T_n — продолжительность периода с резким и продолжительным отклонением среднесуточных температур от режима среднemesячных температур.

На рис. 2 T_5 — средняя температура самой холодной пятидневки.

В формулу (3) слагаемое

$$(t_{\min}^{\text{сут}} - t_{\min}) \sin\left(\frac{\pi \tau_1}{T_n}\right)$$

вводится только при необходимости учёта резких изменений температуры, то есть изменений, существенно отличающихся от хода среднemesячных температур. Время τ_1 отсчитывается от начала периода резких отклонений температуры. Все необходимые для формулы (3) параметры имеются в справочниках по строительной климатологии или в специальных справочниках [4]. Например, параметр T_n для территории стран СНГ в среднем составляет пять суток, а изменяется в интервале пять-семь суток. Этому показателю в климатологических справочниках для строительства соответствует параметр «температура самой холодной пятидневки». Синусоидальный характер изменения температуры наружного воздуха в период резкого похолодания и параметры t_{cp} , t_{max} , t_{min} , $t_{\min}^{\text{сут}}$ и T_n позволяют по формуле (3) вычислить абсолютно минимальную температуру наружного воздуха и температуру самой холодной пятидневки T_5 . Расчёты этих показателей для различных регионов показали совпадение полученных данных по предложенной математической модели с данными климатологических справочников. Этот факт подтверждает допустимость использования при решении уравнения (1) математической модели изменения среднесуточных температур наружного воздуха.

Зависимость для расчёта $t(\tau)$ не учитывает изменения температуры наружного воздуха в течение суток. Для массивных наружных ограждений суточные колебания температуры затухают в их толще и не оказывают ощутимого влияния на формирование микроклимата в контактирующих с ними помещениях. Это утверждение тем более справедливо по отношению к грунтовым массивам, примыкающим к зданиям и обладающим ещё большей тепловой инерцией. По данным [3], суточные колебания температуры проникают в почву на глубину 15–20 см.

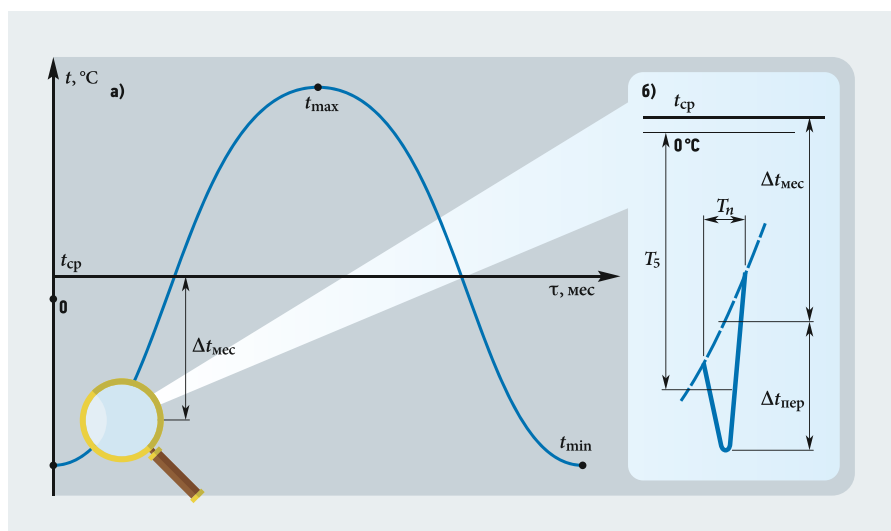


Рис. 2. Характер изменения режима среднemesячных температур наружного воздуха (а) и модель изменения температуры наружного воздуха в период похолодания (б)

Таким образом, формула для расчёта $t(\tau)$ состоит из трёх составляющих:

- среднегодовой температуры t_{cp} ;
- дополнительного слагаемого (или вычитаемого) к среднегодовой температуре $\Delta t_{\text{мес}}$, обусловленного отклонениями среднemesячных температур от t_{cp} , причём характер изменения среднemesячных температур достаточно хорошо соответствует синусоидальному (косинусоидальному) закону;
- дополнительного слагаемого $\Delta t_{\text{пер}}$, обусловленного случайным характером формирования режима погоды, возможностью резкого и продолжительного отклонения текущих значений температуры от режима среднemesячных температур.

Для формирования расчётных условий для зданий период «резкого потепления» добавляется в самый тёплый месяц года при выходе режима среднemesячных температур на максимальный уровень. Для холодного периода года эта величина вычитается в самый холодный месяц при выходе режима среднemesячных температур на минимальный уровень.

Обработка как климатологических [4], так и литературных данных [5] позволили создать математические модели продолжительности дня, восхода и захода Солнца, излучения в мировое пространство, роста и схода снежного покрова, теплового потока непосредственно от центра Земли и т.п.



Структура формулы (3) и закон аддитивности позволяют представить расчётный поток теплоты через полы и заглублённые части зданий тоже состоящим из трёх составляющих, то есть:

$$\begin{aligned} dQ &= k(t(\tau) - t_{\text{вн}})dF = \\ &= k(t_{\text{ср}} + \Delta t_{\text{мес}} + \Delta t_{\text{пер}} - t_{\text{вн}})dF = \\ &= dF(q_c + q_n + q_{\text{п}}), \end{aligned} \quad (4)$$

где k — коэффициент теплопередачи по линии тока теплоты через площадку dF ; $t_{\text{вн}}$ — внутренняя температура в помещении.

Тепловой поток q_c является стационарной составляющей общего теплового потока Q и обуславливается действием разности температур $t_{\text{ср}} - t_{\text{вн}}$. Нестационарная составляющая q_n обуславливается появлением дополнительной, переменной во времени разности температур $\Delta t_{\text{мес}}$, равной разности между температурой режима среднемесячных температур и среднегодовой температурой. Величина q_n тоже является нестационарной составляющей общего теплового потока и определяется дополнительными теплопотерями помещений вследствие отклонения реального режима изменения температуры наружного воздуха от режима среднемесячных температур.

Приведённые выше данные показывают, что методика расчёта потерь теплоты через полы и заглублённые части зданий не может быть сведена только к закономерностям процессов стационарной теплопередачи.

Полученные по результатам решения уравнения (1) результаты проверены в натурных условиях на ряде производственных и общественных зданий. Отметим, что при натурных экспериментах при решении уравнения (1) учитывался реаль-

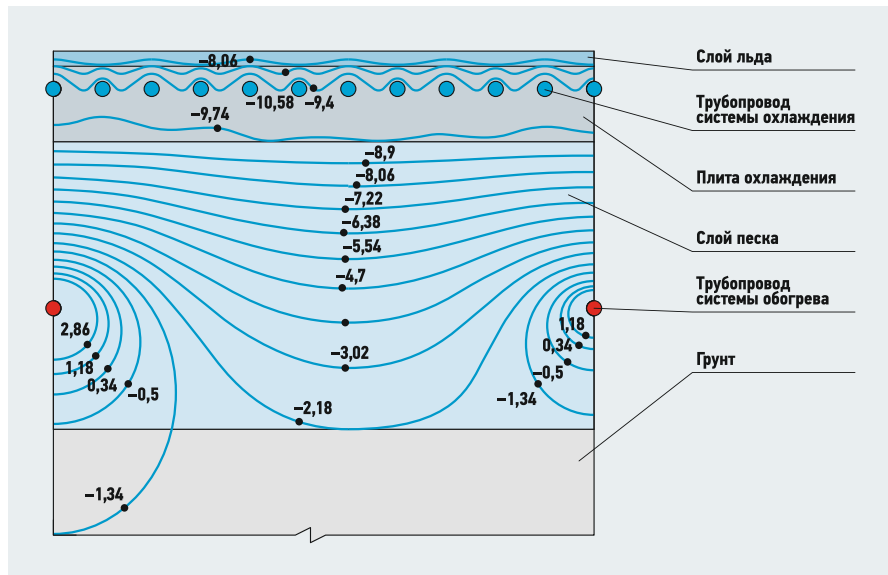


Рис. 3. Температурное поле ледовой пластины и основания катка с системой защиты грунта от промерзания

ный режим погоды, сведения о котором предоставлялись территориальной гидрометеостанцией. Сведения о свойствах грунтов у зданий, участвующих в эксперименте, устанавливались на основании результатов гидрогеологических изысканий перед их строительством и принимались как средние значения по данным, полученным из отдельных шурфов. Откло-

нения вычисленных и измеренных значений теплового потока, как уже отмечено, составляли $\pm 20\%$. Наличие программного модуля для расчёта температурного поля в грунтовом массиве под зданием позволяет, таким образом, определять с точностью $\pm 20\%$ тепловые потоки и температурное поле грунта.

Влияние режима среднемесячных температур проявляется на расстоянии не более 6 м от линии $y = 0$ (рис. 1) по линии $x = \text{const}$ или $z = \text{const}$ на внутренней поверхности заглублённой части стены и (или) пола. Действие резких и продолжительных отклонений (пять-семь суток) температуры наружного воздуха от температуры режима среднемесячных температур проявляется в зоне не более 2 м. Действие среднегодовой температуры наружного воздуха проявляется по всей площади пола или заглублённой части здания. По этой причине, при расчётах внутренних температурах в помещениях выше среднегодовой температуры $t_{\text{вн}} > t_{\text{ср}}$, величина q_c будет отрицательной величиной, то есть будет учитываться в тепловом балансе как потери теплоты, а при $t_{\text{вн}} < t_{\text{ср}}$ — как теплопоступления. Последнее характерно для холодильников.

По результатам исследований для любой точки на внутренней поверхности заглублённой части стены или пола для расчётного периода синтезирована формула для определения локальных значений теплового потока:

$$q = (q_c + q_n) \frac{k_T}{p_n} + q_{\text{п}} \frac{k_T}{p_n}, \quad (5)$$

где q_c — составляющая теплового потока, обусловленная действием разности между температурой внутреннего воздуха и среднегодовой температурой наружного воздуха; q_n — нестационарная составляющая теплового потока, обусловлен-



ная появлением дополнительной разности температур вследствие отклонения среднемесячных температур от среднегодовой температуры наружного воздуха; $q_{\text{п}}$ — нестационарная составляющая теплового потока, обусловленная кратковременными (пять-семь суток) случайными процессами отклонения среднесуточных температур наружного воздуха от хода среднемесячных температур; $k_{\text{т}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла на величину тепловых потоков; $p_{\text{н}}$ и $p_{\text{п}}$ — поправочные коэффициенты, учитывающие влияние снежного покрова на величину потерь теплоты через полы и заглублённые части зданий.

Для расчёта параметров $q_{\text{с}}$, $q_{\text{н}}$, $q_{\text{п}}$, $k_{\text{т}}$, $p_{\text{н}}$ и $p_{\text{п}}$ синтезированы достаточно сложные математические выражения, учитывающие геометрические факторы, конструктивные особенности пола по грунту и заглублённой части стены, теплофизические характеристики грунта и конструктивных элементов здания в расчётной области, климатологические данные, теплоту фазовых переходов в процессе протаивания-промерзания, расчётные параметры внутреннего воздуха и т.д.

Суммарный тепловой поток через зону пола или заглублённой части стены находится по выражению:

$$Q = \int_F q dF, \quad (6)$$

где F — площадь рассматриваемой зоны.

На основании полученных данных авторами разработан Технический кодекс установившейся практики (ТКП), который Минстройархитектуры Республики Беларусь введён в действие в качестве нормативного документа [2], призванного заменить существующую и давно устаревшую методику расчёта потерь теплоты через полы по грунту и заглублённые части стен. Ввиду высокой сложности алгоритма к ТКП прилагается компьютерная программа расчёта. С помощью этой программы можно определить и запаздывание в передаче теплового сигнала от наружного к внутреннему воздуху. В данном нормативном документе опре-

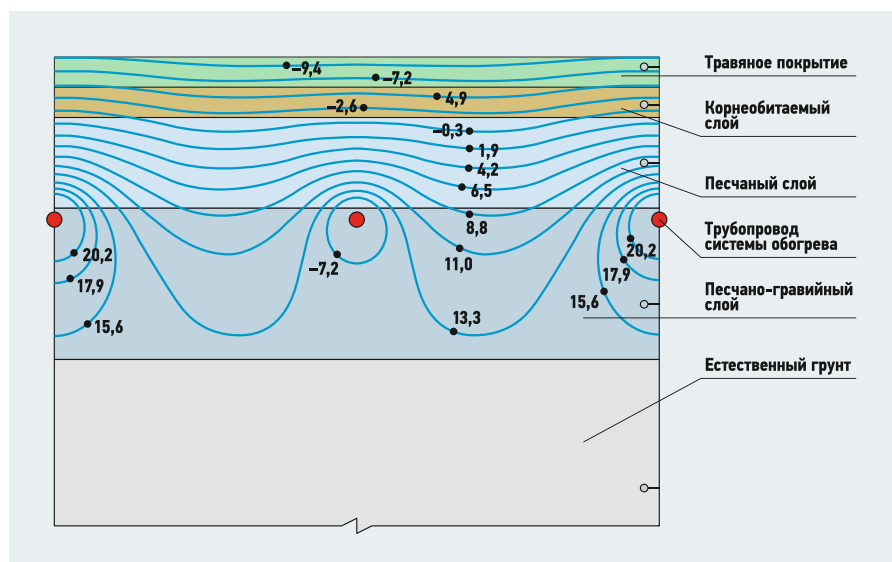


Рис. 4. Распределение температур в основании футбольного поля с системой подогрева грунта

деляются также особенности решения систем отопления (вентиляции) помещений первого этажа широких зданий.

В табл. 1 приведены некоторые результаты расчёта потерь теплоты заглублённой частью здания 12×24 м, $H = 2$ м, возведённом на песчаном основании при $t_{\text{ср}} = +5,5^\circ\text{C}$ и $t_{\text{вн}} = +16^\circ\text{C}$ (пример 1) и $t_{\text{вн}} = -10^\circ\text{C}$ (пример 2). Остальные исходные климатологические и конструктивные параметры расчётной области здесь не приводятся.

Приведённые в табл. 1 данные показывают существенное различие результатов расчёта теплового баланса заглублённой части зданий по традиционной методике и по методике ТКП [2].

Уход от упрощённых методик и учёт многомерности и нестационарности тепловых процессов позволяет существенно приблизить исходные данные для проектирования систем отопления (охлаждения) и вентиляции к численному значению параметров реальных физических процессов. Авторы считают, что на современном уровне развития науки и техники в проектной практике следует шире применять методы математического моделирования. Известны примеры, когда точ-

ное следование упрощённым методикам расчёта, установленным требованиями современных нормативных документов, приводило на стадии проектирования объектов к ошибочным инженерным решениям и к ощутимым отрицательным экономическим последствиям.

На рис. 3 в качестве примера приведены результаты расчёта температурного поля ледовой пластины и основания катка, а на рис. 4 — в основании футбольного поля с системой подогрева грунта, выполненный с использованием метода конечных элементов.

Информация о локальных характеристиках нестационарного теплового процесса на стадии проектирования инженерных систем позволяет оценить вклад определяющих факторов в формирование процесса и принять взвешенное техническое решение.

Выводы

1. В современных условиях следует внедрять в практику проектирования математическое моделирование физических процессов, лежащих в основе разработки той или иной инженерной системы.
2. Реальные тепловые процессы отличаются распределённостью параметров, нестационарностью и многомерностью.

1. Сотников А.Г. Теплофизический расчёт теплопотерь подземной части зданий // АВОК, 2010. №8. С. 62–69.
2. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-4.02-140-2009 (02250): Потери теплоты через полы по грунту и заглублённые части зданий. Порядок расчёта. — Минск: Минстройархитектуры РБ, 2009. 22 с.
3. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. — М.: Наука, 1976. 353 с.
4. Справочник по климату СССР: В 34 вып. — М.: Гидрометеиздат, 1964–1979.
5. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. — Л.: Гидрометеиздат, 1956. 255 с.

References — see p. 94.

Результаты расчёта потерь теплоты

табл. 1

Наименование параметра	Пример 1		Пример 2	
	По методике ТКП	При расчёте «по зонам»	По методике ТКП	При расчёте «по зонам»
Общие потери теплоты через заглублённые участки стен и пол всего здания, Вт	2435	3585	210	995
Потери теплоты через заглублённую поверхность стены (1 зона), Вт	1855	1825	285	640
Потери теплоты через 2 зону, Вт	370	110	–35	+260
Потери теплоты через 3 зону, Вт	140	475	–40	+95
Потери теплоты через 4 зону, Вт	65	170	–	–

Ground temperature array formation close to building and heat losses through floor and buried wall constructions. Pages 60–65.

P. I. Dziachek, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of heat and ventilation; **S. A. Makarevich**, PhD; **D. G. Livanskij**, master of technical science, Belarusian national technical University (BelNTU)

-
1. Sotnikov A.G. Teplofizicheskij raschjot teplopoter' podzemnoj chasti zdaniy [Thermophysical calculation of the heat loss of the underground parts of buildings] // AVOK. 2010. No. 8. Pp. 62–69.
 2. Tehnicheskij kodeks ustojavshejsja praktiki (TKP) [Technical Code of Steady Practice] 45-4.02-140–2009 (02250): Poteri teploty cherez poly po gruntu i zaglubljonnnye chasti zdaniy. Porjadok raschjota [Heat losses through floors on the ground and underground parts of buildings. The procedure for calculating]. Minsk. Ministrojarhitektury RB [The Ministry of Construction and Architecture of the Republic of Belarus]. 2009. 22 p.
 3. Chudnovskij A.F. Teplofizika pochv [Thermal physics of soil]. Moscow. Isdatel'stvo Nauka ["Science" Publishers], 1976. 353 p.
 4. Spravochnik po klimatu SSSR: V 34 vyp. [Guide to Climate of the USSR. Vols. 1–34]. Moscow. Gidrometeoizdat [Hydrometeorological publishing]. 1964–1979.
 5. Budyko M.I. Teplovoj balans zemnoj poverhnosti [The heat balance of the Earth's surface]. Saint-Petersburg. Gidrometeoizdat [Hydrometeorological publishing]. 1956. 255 p.