

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НОВОГО ТИПА

Й. МЕНЬХАРТ и А. ЗЕЛЬД

Кафедра сантехники Будапештского Политехнического Университета

(Поступило 22 сентября 1966 г.)

Введение

В Венгрии и в ряде стран Европы мы можем быть свидетелями быстрых темпов развития строительства жилых зданий и системы снабжения жилых зданий. В строительной промышленности все больше выдвигаются на передний план процессы, позволяющие применять сборные методы строительства: блочные, панельные и литые методы. Также в области теплоснабжения домов развились две тенденции: теплофикация на горячей воде, как теплоносителя, и индивидуальное газовое отопление.

В Венгрии сборочные методы строительства типовых жилых зданий, позволяющие осуществить строительство жилых домов монтажным характером, сосредоточены, в первую очередь, на жилых поселках, следовательно, большинство этих жилых зданий эксплуатируется на базе теплофикации. Новые методы строительства и теплоснабжения жилых домов выдвигают ряд новых проблем, связанных с теплотехническим расчетом зданий. По нашему опыту действующие в настоящее время в Венгрии правила и нормы расчета действительны с большим запасом для ограждающих конструкций нового типа, а кроме того они не учитывают очень большой запас от непрерывного отопления (теплофикация в Венгрии работает круглые сутки). Определение излишне высоких запасов от завышенного расчета, а также их надежная числовая оценка дадут значительную экономию как по капиталовложениям, так и по эксплуатационным расходам.

Для выполнения нами исследований в нашем распоряжении имелись проектные документации и расчеты типовых жилых зданий, а также результаты лабораторных испытаний использованных строительных материалов. После контроля этих данных мы приступили к серии длительных заводских опытов. В рамках этих экспериментов нами выполнялись и выполняются измерения в готовых и находящихся уже в эксплуатации жилых домах с целью определения потребления тепла для отопления, внутренней температуры помещений, данных строительной физики ограждающих конструкций, физиологических параметров и прочих факторов, имеющих важное значение с теплотехнической и иных точек зрения.

В настоящей работе дается отчет о нескольких результатах первой фазы серии многолетних опытов. После краткого обзора действующих в настоящее время в Венгрии правил и норм теплотехнического расчета дается описание испытываемых жилых зданий, а затем излагаются методы измерения. В дальнейшем приводятся результаты измерений и выводы, сделанные на основе результатов измерений.

2. Краткий обзор правил и норм теплотехнического расчета

Тепловые потери, определенные на основе отечественных правил и норм, состоят из двух частей: из основных тепловых потерь и надбавок. Для определения основных тепловых потерь служит известное уравнение

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n A_i k_i (t_B - t_H), \quad (1)$$

где: A_i — ограждающая поверхность помещения [м^2];
 k_i — коэффициент теплопередачи [$\text{ккал}/\text{м}^2 \text{ час. } ^\circ\text{C}$];
 t_B — внутренняя температура помещения [$^\circ\text{C}$];
 t_H — температура наружная (соседнего помещения) [$^\circ\text{C}$];
 Q_0 — основные теплотери [$\text{ккал}/\text{час}$].

Метод определения размеров ограждающих конструкций, коэффициенты теплопередачи обычных конструкций, внутренняя температура помещений различного назначения и наружная температура даны в правилах.

На основе зависимости (1) из основных тепловых потерь общие теплотери будут

$$Q = Q_0 (p_e + p_{sz} + p_f + p_x) \quad [\text{ккал}/\text{час}] \quad (2)$$

где: Q_0 — основные теплотери [$\text{ккал}/\text{час}$];
 p_e — надбавка на страну света
 p_{sz} — надбавка на ветер
 p_f — надбавка на разогрев
 p_x — прочие надбавки

Надбавки должны быть определены для всего помещения. По отдельным надбавкам следует отметить следующие.

Надбавка на страну света (p_e). Для помещения с невыгодной ориентировкой наружной стены по направлению наружной стены или в случае угловой комнаты по направлению угла следует принять надбавку 10% (с) и, соответственно, 5% (СВ, СЗ).

Надбавка на ветер (p_{sz}). В зависимости (1) для расчета основных тепловых потерь коэффициент теплопередачи «к» (соответственно коэффициент наружной теплоотдачи α_k) установлен с учетом значительной скорости ветра

в прибл. 4,5 м/сек. Надбавку на ветер следует учитывать лишь при наличии наветренных зданий, построенных на территории со скоростью ветра, превышающей нормальную (например, на вершинах гор). Величина этой надбавки равна 10—25%. Теплопотребность *естественного воздухообмена*, как правило, не нужно вычислять, так как величина ее входит в надбавку на ветер.

Надбавка на разогрев (pf). В зависимости от продолжительности перебива эксплуатации, далее, кубатуры помещения следует определить надбавку на разогрев в размере 8—25%. Для зданий с непрерывным режимом отопления надбавка на разогрев не определяется, более того, в таких помещениях величину внутренней температуры ($t_{в}$) следует определить ниже на 2° С. Расчеты, выполненные для помещений обычных размеров, дали такой результат, что более высокая температура поверхностей помещений с непрерывным отоплением ($t_{вп}$ °С) и внутренняя температура ($t_{в}$ °С), уменьшенная на 2° С, дают одну и ту же результирующую температуру

$$t_{рез} = 0,55 \cdot t_{вп} + 0,45 t_{в}, \quad (3)$$

которая устанавливается при предписанной температуре воздуха в помещениях с прерывным отоплением.

Из числа прочих надбавок (p_x) венгерскими правилами и нормами учитываются следующие.

Надбавка на нижний этаж. Эта надбавка должна быть определена для первых этажей многоэтажных зданий из-за тяги воздуха лестничной клетки.

Надбавка на тепловое ощущение. Эта надбавка служит для компенсации неприятного лучистого воздействия ограждающих поверхностей с более низкой температурой в тех помещениях, где имеется большое число охлаждающихся поверхностей. Величина надбавки правилами определяется в зависимости от удельных тепловых потерь (q ккал/м³, час).

Надбавка на облегчение. Эта надбавка должна определяться для помещений, где имеются стеновые конструкции с малой теплоемкостью для выравнивания неблагоприятного коэффициента теплового затухания.

Надбавка на высоту. Надбавка на высоту определяется с целью выравнивания неблагоприятного действия распределения температуры в помещениях с большей внутренней высотой (выше 4 м).

Разумеется, что кроме перечисленных выше имеются специальные предписания для расчета больших залов и помещений лучистым или воздушным отоплением и т. д.

3. Описание зданий

При строительстве жилых домов в Венгрии в настоящее время применяются 4 различных системы конструкций (кирпичная, блочная, панельная, литая). Эта группировка относится к утвержденным и внедренным во

всей стране типовым проектам, но не означает, что в индивидуальном масштабе, или в мелких сериях не строятся жилые здания также иных типов, например, жилые здания каркасной конструкции.

Система строительства *кирпичных зданий* не выдвигает новых проблем с теплотехнической точки зрения. Принятая по статическим и прочим причинам строительная толщина (1 1/2 кирпич: 38 см) дает соответствующую изоляцию, затухание и фазовый сдвиг, а элементы, образующие тепловой мост (железобетонный пояс), можно снабдить защитной изоляцией. Строительная влажность вначале связана с дополнительным расходом тепла.

Один размер кладочного блока *блочной системы* имеет величину параметра. Основные размеры блока с учетом основного модуля 30 см, вертикального шва и горизонтальных швов: 288 x 119 x 29 см. Материалом блока является шлакобетон на базе металлургического шлака с добавкой цемента и уплотнением, зависящими от требований, предъявляемых к прочности. (ВК 50 : 1500 кг/м³, ВК 70 : 1600 кг/м³ и ВК 10 : 1650 кг/м³). Блоки соединяются с расположенным под ними конструкционным элементом горизонтальным швом, заполненным раствором, а с соседним блоком при помощи полупаза, заполненного также раствором. Окончательные поверхности стен получают местной штукатуркой и окраской.

Теплотехнические показатели блочной системы достаточно удовлетворительные: согласно предварительной оценке, их изолирующая способность эквивалентна кирпичной стене толщиной 38 см, а коэффициент затухания — кирпичной стене толщиной 25 см ($\kappa = 1,35$ ккал/м², час °С, соответственно, 14). Материал воздухопроницаем и влагопроницаем. Строительная влажность незначительна. Воздействие сквозных стыковых зазоров и образующих тепловой мост элементов (железобетонный пояс, коробка окон и дверей), которые последние в пределах заданной толщины стен не могут быть снабжены защитной изоляцией, является значительным.

Оба размера кладочного блока *панельной системы* имеют величину параметра («размер комнаты»). Материал панелей неоднородный: слои несущей конструкции и теплоизоляционные слои располагаются попеременно, вообще так, что изоляционный материал расположен между двумя слоями бетона. Панели устанавливаются с готовой и окончательно отделанной поверхностью.

Изолирующая способность стеновой конструкции панельной системы вследствие более сложной конструкции, несущих ребер, ребер жесткости и перемычек неоднородная, а стыковые швы панелей не могут быть прикрыты и в результате этого контроль тепловых мостов требует особой тщательности. Теплоемкость и коэффициент затухания низки. Конструкция, как правило, не воздухопроницаема, а предотвращению конденсации паров следует уделять большое внимание. Строительной влажности практически не имеется.

Система *литой конструкции*, по существу, носит монолитный характер и обеспечивает коробчатую конструкцию зданий. Конструкция стен однородная. В отношении изолирующей способности, паропроницаемости и теплоемкости действительно сказанное в отношении блочной системы. Выгодным является значительное ограничение воздействия элементов, образующих тепловые мосты. К недостаткам следует отнести наличие строительной влажности.

За прошлые два отопительных сезона нами выполнены эксперименты в одном кирпичном и одном блочном жилых зданиях. В следующий отопительный сезон мы начнем серию экспериментов в одном панельном и одном литом жилых зданиях.

Кирпичное здание 8-этажное с подвалом и плоской крышей на застроенной площади. В подвале размещены теплоцентраль, прачечная, склад и т. д. На нижнем этаже имеются магазины и столовая (с отдельной системой теплоснабжения), а на 2—8 этажах имеется всего 96 квартир. Ориентировка главного фасада юго-западная.

Блочное здание представляет собой 5-этажный жилой дом без подвала с плоской крышей на несплошно застроенном жилом поселке. На нижнем этаже имеется теплоцентраль, склады и 8 квартир, на 2—5 этажах по 16 квартир, т. е. всего 72 квартиры во всем здании. Вход в квартиры возможен из закрытых лестничных клеток. Ориентировка главных фасадов восточно-западная, восточный фасад свободный, а с остальных трех сторон дом защищен жилыми зданиями подобных размеров.

Теплоснабжение в обоих зданиях происходит от теплофикационной сети, работающей на горячей воде. Количество горячей воды, циркулирующей в теплофикационной сети, постоянное, а ее температура регулируется в зависимости от наружной температуры. Температура и по расчетам прямого потока воды составляет 130°C , а обратно — 70°C .

В зданиях работает насосное отопление теплой водой $90/70^{\circ}\text{C}$. Вторичная горячая вода для отопления получается в противоточных теплообменниках, нагреваемых горячей водой. Бытовая горячая вода получается в бойлерах, нагреваемых также горячей водой.

Теплообменными нагревательными приборами в квартирах служат чугунные или алюминиевые радиаторы.

4. Описание метода измерения

С целью контроля расхода тепла здания для отопления, далее, с целью определения пропорции распределения всего количества тепла для отопления и для выработки горячей воды в обоих зданиях нами измерялось количество горячей воды, поступающей в теплоцентраль здания, а кроме того

регистрировалась температура горячей воды, поступающей в теплообменные аппараты и бойлеры, а также температура выходящей из них горячей воды.

Для измерения температуры применялись никелевые термометры сопротивления, помещенные в гильзу, а для регистрации служил пунктограф на 6 цветов. Расход бытовой горячей воды измерялся регистрирующим водомером типа Акваетро. Температура горячей воды, выходящей из горелок, температура поступающей в бойлер воды из сети и циркуляционных трубопроводов измерялась также при помощи термометров сопротивления и регистрировалась пунктографом.

В кирпичном здании в основном трубопроводе вторичного отопления секции, состоящей из 32 квартир, а в блочном здании в секции, состоящей из 36 квартир, при помощи *тепломера* измерялся расход тепла на отопление секции. Для измерения нами использован тепломер типа Поллукс, который измеряет количество проходящей воды при помощи крыльчатого водомера, а температуру прямого и обратного потоков — температурных датчиков, наполненных дилатационной средой, и механически интегрирует полученные данные. С целью контроля при помощи термометра сопротивления и пунктографа регистрировались и температуры прямого и обратного потоков вторичной отопительной сети.

С целью определения внутренней температуры помещений в кирпичном здании произведена регистрация температуры в 12 помещениях таким образом, что в каждом помещении было размещено несколько никелевых термометров сопротивления без защитной гильзы в различных точках помещения (вблизи окна, вблизи внутренней стенки, на уровне щиколотки и на уровне головы), а замеренные данные регистрировались пунктографом на 6 цветов.

Ввиду того, что опыт, приобретенный с пунктографами на 6 цветов, не был удовлетворительным, измерение в *блочном здании* было организовано таким образом, что в помещениях, занятых жильцами, было размещено несколько термографов, вращаемых часовым механизмом с недельным заводом, а одна небольшая квартира была выделена для более подробных измерений. В этой небольшой квартире, служащей исключительно для целей измерения, можно было производить измерение, а также регистрацию температуры, теплопроизводительности и различных прочих физиологических параметров и параметров строительной физики.

При помощи экранированных Cu—Со термодатчиков и компенсографов регистрировалась температура воздуха помещения, а также температура, замеренная шаром Миссенара, температура отопительной воды, поступающей в имеющийся в комнате радиатор, и воды, уходящей из радиатора, далее, поверхностная температура внутренней плоскости наружной стены, температура внутренней поверхности окна и поверхностная темпера-

тура плоскости внутренней стены. На местах, опасных с точки зрения образования теплового моста (углы стены, перекрытие, кромка между перекрытием или наружной стеной, кромка между полом и наружной стеной, коробка окон и дверей и т. д.), далее на поверхностях, играющих роль с точки зрения чувства тепла (пол, потолок, окна и двери), установлено большое число $S_{\text{и}}-S_{\text{о}}$ термоэлементов, показания которых считывались от случая к случаю при помощи гальванометров со световым зайчиком. С целью получения большого количества данных, относящихся к поверхностной температуре, мы применяли термиторный щуповый термометр.

Для измерения количества воды, протекающей через радиатор, мы применяли крыльчатый водомер. Стояки и места соединения дополнительно были снабжены очень сильной тепловой изоляцией.

Для поддержания заданной и постоянной внутренней температуры мы применяли конвективный электронагреватель, регулирование которого производилось при помощи комнатного термостата САУТЕР и контактора. Мощность электронагревателя проверялась регистрирующим ваттметром.

С целью определения физиологических параметров время от времени в нескольких местах помещения измерялась температура и катафактор. В жилой комнате и в соседних помещениях (кухня, ванная) при помощи термогигрографов, вращаемых часовым механизмом, регистрировались данные температуры и относительной влажности.

Возле обоих зданий на нормальных небольших метеорологических станциях, расположенных в непосредственной близости зданий, измерялись температура и влажность *наружного воздуха* и атмосферное давление. На основании опыта, приобретенного в случае кирпичного здания, данные, определенные для блочного здания, были пополнены определением данных скорости и направления ветра.

5. Оценка результатов измерения

5.1 Оценка измерения расхода тепла на отопление

Для определения расхода тепла на отопление у *обоих зданий* наиболее выгодным оказалось измерение теплорасхода секции здания, учитывая, что, с одной стороны, имелось больше возможностей для контроля этого параметра, а с другой стороны, на основе относительно большего числа квартир (32 или 36) может быть выполнена достаточно надежная оценка, и различный образ жизни жильцов и прочие случайные воздействия в меньшей мере влияют на результаты измерений. При оценке были обработаны часовые средние величины, полученные из величин, считанных через каждые 24 часа по тепломеру.

Замеренные данные расхода тепла нами отображены в зависимости от наружной температуры: на *рис. 1* указываются данные кирпичного здания, на *рис. 2* — данные блочного здания. На обоих рисунках фигурирует и прямая, показывающая значение расчетных тепловых потерь. Из рисунков, с одной стороны, виден значительный разброс замеренных данных, а с другой стороны, что большинство данных имеет меньшее значение, чем расчетные теплотери. Только редко встречается результат измерения, достигающий расчетного значения или превышающий расчетное значение.

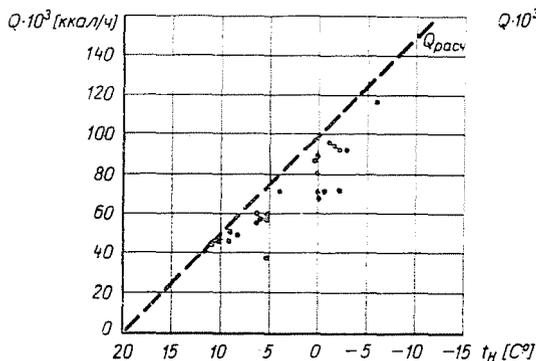


Рис. 1. Тепловые потери (Кирпичное здание)

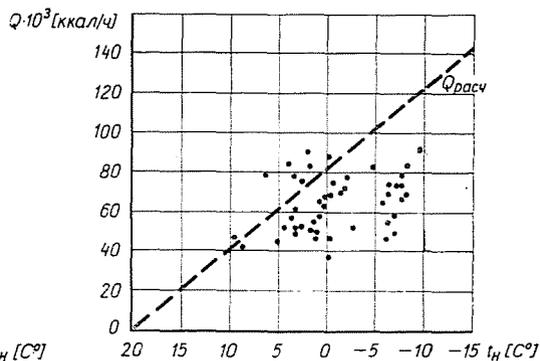


Рис. 2. Тепловые потери (Блочное здание)

Основной причиной значительного разброса является колебание внутренней температуры помещений: отдельные результаты измерений не относятся к одинаковой температуре помещения. На основании данных термо-регистрирующих приборов, размещенных в квартирах, нами определена средняя температура помещений, относящаяся к дням, в которые производились измерения, обработанные в рисунках 1 или 2, а затем результаты измерений были пересчитаны по зависимости

$$\chi = \frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в \text{ эфф}} - t_{н}} \quad (4)$$

где

$t_{в}$ — заданная внутренняя температура [°C]

$t_{н}$ — наружная температура [°C]

$t_{в \text{ эфф}}$ — действительная внутренняя температура [°C]

Таким образом из результатов измерений получают величины расхода, относящиеся к разности температур ($t_{в} - t_{н}$), соответствующей заданной внутренней температуре. Изображая эти величины на диаграмме (данные кирпичного здания *рис. 3*, данные блочного здания: *рис. 4*), можно установить два обстоятельства: с одной стороны, результаты по отношению к рас-

четным значениям продолжают уменьшаться вследствие того, что в помещениях, как правило, отмечался значительный перегрев, а с другой стороны, отмечается меньший разброс величин.

В отношении данных теплорасхода, пересчитанных в пропорции, соответствующей разности заданной и фактической температур, нами была определена т. н. функция регрессии, наиболее близкая к множеству данных. Из анализа регрессии получается, что приближение к множеству точек может быть реализовано либо при помощи прямой, не проходящей через

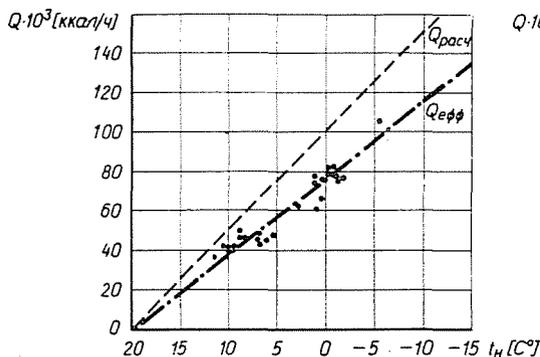


Рис. 3. Тепловые потери ($t_{в} = 20^{\circ} \text{C}$) (Кирпичное здание)

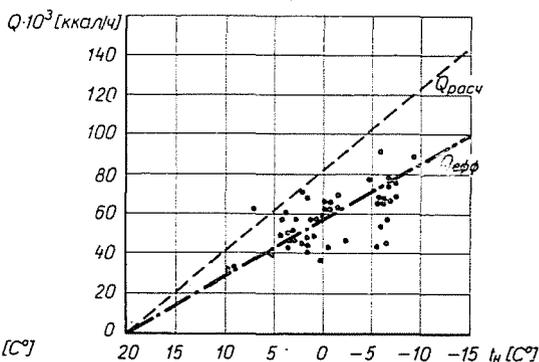


Рис. 4. Тепловые потери ($t_{в} = 20^{\circ} \text{C}$) (Блочное здание)

начало, или при помощи функции третьей степени. Это объясняется тем, что тепловые потери зависят не только от разности температур ($t_{в} - t_{н}$), но и от ряда прочих метеорологических факторов. Действие метеорологических факторов, однако, различное в том или ином диапазоне наружной температуры.

Несмотря на изложенное выше, мы решили использовать приближение множества точек при помощи прямой, проходящей через начало. Это решение, хотя несомненно связано с высшей погрешностью регрессии, в большой мере соответствует воззрению, а с точки зрения дальнейшей оценки имеет некоторые преимущества.

При расчете функции регрессии мы применили метод наименьших квадратов. Этот метод исходит из того требования, чтобы сумма квадратов расстояний между точками (X_i, Y_i) и точками (x_i, y_i) регрессионной функции была минимальной, значит должна быть удовлетворена зависимость

$$\sum_{i=1}^n (y - y')^2 = \min \tag{5}$$

где n — число сопряженных величин.

Применяя вышеописанный метод, получается функция регрессии с уравнениями $Y = 0,376 X$ и $Y = 0,284 X$. Если начертить прямые регрессии на рис. 3 и 4, то видно, что прямая регрессии, иллюстрирующая замеренные величины теплорасхода, дает значительно меньшие величины, чем расчетные. Определив для обоих зданий отношение между расчетными теплопотерями и замеренными теплопотерями, изображенными прямой регрессии, получаются близкие, друг к другу результаты: для *кирпичного здания* отношение фактического и расчетного количества тепла будет

$$\frac{Q_{\text{эфф}}}{Q_{\text{расч.}}} = 0,735$$

в то время для *блочного здания* имеем

$$\frac{Q_{\text{эфф}}}{Q_{\text{расч.}}} = 0,700$$

Стандартная погрешность функции регрессии

$$S_y = \sqrt{\frac{\Sigma(y - y')^2}{n}} \quad (6)$$

а относительная погрешность

$$H_y = \frac{S_y}{\bar{Y}} \quad (7)$$

где новые обозначения

S_y — стандартная погрешность

H_y — относительная погрешность

\bar{Y} — среднеарифметическая величины Y .

Для кирпичного здания значение стандартной погрешности равно $S_y = 0,0705$ (выражено в виде отношения к расчетным теплопотерям), а значение относительной погрешности $H_y = 9,33\%$. Для блочного здания значение стандартной погрешности равно $S_y = 0,16$, а значение относительной погрешности $S_y = 22,3\%$. Эти относительно большие значения получают, с одной стороны, вследствие выбранного нами для приближения метода (пренебрежение метеорологическими факторами), а с другой стороны, вызваны тем, что количество обработанных до сих пор данных относительно невелико для целей статистической обработки.

Мы исследовали характер отклонения точек измерения от прямой регрессии, проходящей через начало. Для этой цели в значениях наружной температуры нами определены 4 характерных интервала (табл. 1).

Таблица 1

№ интервалов	I	II	III	IV	V
	+ 7—	+2— +7	-2 +2	-7— -2	- -7

В этих интервалах нами образованы средние арифметические данных теплорасхода, отображенных на диагр. 3 и 4, далее, средние арифметические наружных температур, встречающихся в ходе измерений в отдельных интер-

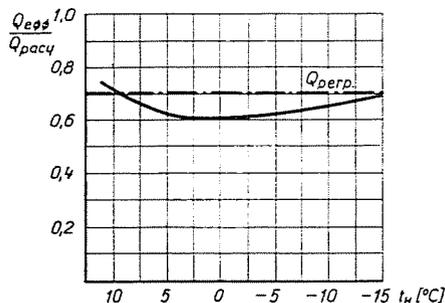


Рис. 5. Соотношение $\frac{Q_{эфф}}{Q_{расч}}$ (Кирпичное здание)

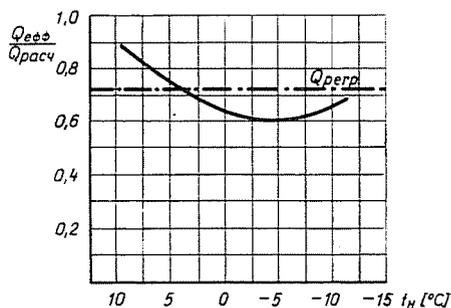


Рис. 6. Соотношение $\frac{Q_{эфф}}{Q_{расч}}$ (Блочное здание)

валах. Откладывая эти средние значения теплорасхода, выраженные в процентах расчетных теплопотерь, на значения средних температур, рассчитанные для отдельных интервалов, для *кирпичного здания* получается рис. 5, а для *блочного здания* рис. 6. На рисунках построена и прямая, соответствующая функции регрессии и также выраженная в процентах расчетных теплопотерь.

На обоих рисунках с одинаковым характером видно отклонение значений теплорасхода от функции регрессии: при высоких наружных температурах средние значения теплорасхода находятся над прямой регрессии, а при падении наружных температур средние значения теплорасхода опускаются ниже прямой регрессии и несмотря на то, что за известным пределом они показывают тенденцию роста, функции регрессии они не достигают. Этот характер объясняется тем, что при высоких наружных температурах вероятность частоты сильных ветров больше, что относительно повышает тепловые потери. По накопленному опыту, свыше температуры в 8—10° С сильно способствует повышению более интенсивное проветривание квартир, «регулирование» открыванием окон приятных физиологических условий.

Относительное уменьшение средних значений объясняется меньшей вероятностью частоты сильных ветров, а незначительное повторное повышение средних значений можно объяснить малым запасом энергии солнечной радиации.

Из рисунков кроме идентичного характера видно, что кривая *блочного здания* незначительно сдвигается вправо, а описанное выше действие проявляется сильнее, чем у кирпичного здания. По нашим соображениям это объясняется тем, что *блочное здание*, возведенное на новом несплошно застроенном жилом поселке, подвергается различным воздействиям (ветру, солнечной радиации), сильнее, чем *кирпичное здание*, построенное на сплошно застроенной городской территории с закрытым и защищенным расположением.

С целью оценки воздействия ветра в случае *блочных зданий* нами собраны данные по ветру. Для 24 часовых периодов измерения теплорасхода нами определены средние значения скорости ветра и господствующее направление ветра. Из сопряженных пар значений температуры и скорости ветра периода измерения нами определена величина конвективной эквивалентной наружной температуры ($t'_н$) на том принципе, что разность между внутренней и наружной температурами умножается пропорционально коэффициенту теплопередачи k , изменяющемуся в зависимости от коэффициента наружной теплоотдачи α_n , относящегося к данной скорости ветра, и пропорционально коэффициенту теплопередачи « k », примененному в расчете тепловых потерь.

Выражая это формулой, имеем:

$$\frac{k'}{k} = \frac{t_s - t'_н}{t_s - t_n} \quad (8)$$

(Объяснение отдельных буквенных обозначений дано в тексте.)

Отсюда

$$t'_н = t_s - \frac{k'}{k} (t_s - t_n) \quad (9)$$

Зависимость величины α_n от скорости ветра вычислена при помощи известной из литературы (2) зависимости

$$\alpha_{н\text{конв}} = 6,31 w^{0,656} + 3,25 e^{-1,91w} \quad [\text{ккал/м}^2, \text{час}^0 \text{С}] \quad (10)$$

где w — скорость ветра [м/сек]

$\alpha_{н\text{конв}}$ — наружный конвективный коэффициент теплоотдачи [ккал/м², час, °С]

Полный наружный коэффициент наружной теплоотдачи состоит из коэффициента конвективной и лучистой теплоотдачи

$$\alpha_n = \alpha_{н\text{конв}} + \alpha_{\text{луч}} \quad [\text{ккал/м}^2, \text{час}, ^\circ\text{С}] \quad (11)$$

Исходя из средних температурных значений получаем $\alpha_{луч} = 3,0$.

Полный коэффициент теплопередачи, определенный вышеприведенным методом, в функции наружной температуры изображается на *диагр. 7*.

Если известны остальные конкретные данные, фигурирующие в коэффициенте теплопередачи, можно построить $k' = f(w)$.

В зависимости от определенной вышеописанным методом конвективной эквивалентной наружной температуры t_n мы построили замеренные значения

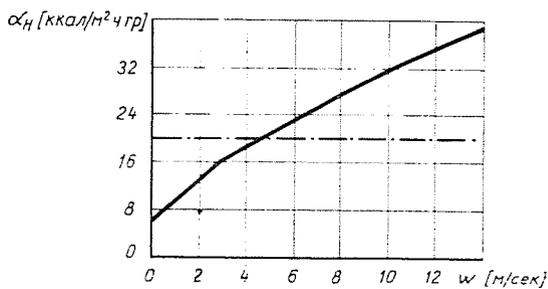


Рис. 7. $\alpha_n = f(w)$

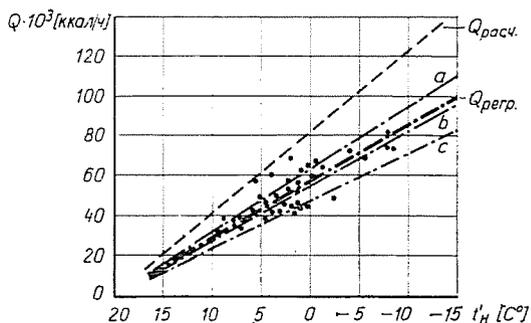


Рис. 8. Тепловые потери в функции t_n -ой (Блочное здание). Направление ветра: а) В, СВ, ЮВ; б) С, Ю; в) З, СЗ, ЮЗ

теплорасхода (рис. 8), далее, прямые, соответствующие расчетным теплопотерям, и функции регрессии. Разброс точек измерения по отношению к *диагр. 4* уменьшается, подтверждая этим заметное воздействие ветра.

С целью определения причины разброса данных мы исследовали воздействие направления ветра. Ветры по их направлению нами разбиты на три группы. К первой группе относятся ветры, воздействующие на незащищенный восточный фасад (сектор СВ—В—ЮВ), ко второй группе — ветры, воздействующие на защищенные концевые стены (С, Ю), а к третьей группе — ветры, воздействующие также на защищенный западный фасад (сектор СЗ—З—ЮЗ). Точке измерения на рис. 8 уже даны по этой группировке. Для отдельных множеств оказалось возможным определить хорошо при-

ближающиеся прямые регрессии (обозначение через a , b , c на рис. 8), различная крутизна которых хорошо указывает воздействие направления ветра, воздействие защищенности. Значения функций регрессии отдельных множеств, выраженные в процентах величины функций регрессии, относящихся к полному множеству, следующие: 1 группа — 116%; 2 группа — 99%; 3 группа — 90,5%.

Принимая значение функции регрессии защищенного западного фасада за 100%, для отдельных групп получаются следующие значения: 1 группа — 128%, 2 группа — 109,5% и 3 группа — 100%.

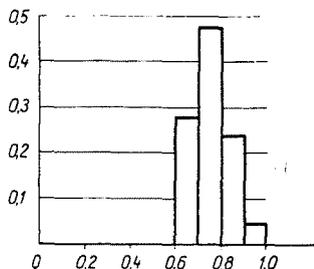


Рис. 9. Гистограмма (Кирпичное здание)

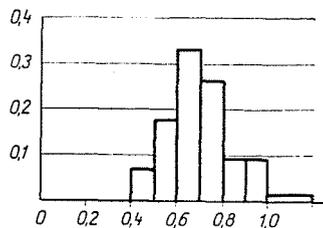


Рис. 10. Гистограмма (Блочное здание)

Последнее сопоставление подтверждает реальность значение надбавки на ветер, принятой для незащищенных помещений.

Для разброса значений теплорасхода, изображенных на диагр. 3 и 4 и пересчитанных на заданную внутреннюю температуру зданий, мы попытались установить практически применимое верхнее предельное значение. При расчете использовано отношение замеренного и расчетного теплорасхода.

$$\frac{Q_{\text{эфф.}}}{Q_{\text{расч.}}}$$

Этот коэффициент подходит потому, что и функция регрессии, представляемая прямой, проходящей через начало, при любой наружной температуре может быть определена тем же отношением. $\frac{Q_{\text{регр.}}}{Q_{\text{расч.}}}$. В этом частном мы установили эмпирическую зависимость плотности замеренных значений. Из частных образованы интервалы шириной $\Delta x = 0,1$ и по n — числу измерений определен коэффициент $k_1, k_2 \dots k_j$ результатов, приходящихся на отдельные интервалы. Замеряя величину $\frac{k_j}{n \cdot \Delta x}$ в k_j -ном интервале, получается т. н. гистограмма.

Гистограмма *кирпичного здания* изображена на рис. 9, а *блочного здания* — на рис. 10. Эти функции плотности оказывались достаточно пра-

вильными. В обоих случаях наблюдается незначительная правосторонняя асимметрия. После определения функции эмпирического распределения, изображая полученные значения на сетке Гаусса, сделан вывод, что эмпирическая функция распределения в данном случае в приемлемой мере может быть приближена нормальным распределением. Установлено среднее арифметическое отдельных результатов измерений

$$\bar{\xi} = \frac{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n}{n} \quad (12)$$

где $\bar{\xi}$ — арифметическое среднее, далее, скорректированный эмпирический разброс

$$\sigma_n^+ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\xi} - \xi_i)^2}{(n-1)}} \quad (13)$$

где σ_n^+ — скорректированный эмпирический разброс — неискаженная оценка квадрата разброса (σ^2). На основе приведенных выше данных определены интервалы конфиденции, перекрывающие с вероятностью $1-p$ величины действительного теплорасхода на основе зависимости

$$\bar{\xi} - t \frac{\sigma_n^+}{\sqrt{n}} < m < \bar{\xi} + t \frac{\sigma_n^+}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

где: $\bar{\xi}$ — средняя арифметическая замеренных значений;
 σ_n^+ — скорректированный эмпирический разброс;
 n — число измерений;
 t — величина, действительная для уровня надежности $(1-p)$ распределения Студента со степенью свободы $(n-1)$;
 m — вероятная величина.

За пределы интервала конфиденции выходит вероятно лишь p % действительных значений теплорасхода. Однако, учитывая асимметрию гистограммы (рис. 9 и 10), большая доля этих p % будет находится над интервалом конфиденции, а меньшая доля — под ними.

В данном случае выбор уровня надежности выше 90% практического значений не имеет, так как в результате этого получается весьма широкий интервал конфиденции. Уровень надежности в 90% означает то, что в отопительный сезон следует считаться с вероятностью повторения 10—11 таких дней, в которые действительный теплорасход превысит верхний предел интервала конфиденции. Вероятность повторения таких дней не велика, а их значение уменьшает и тот факт, что с учетом характера рис. 5 и 6 эти дни можно ожидать в первую очередь при относительно высокой наружной температуре.

В случае выбора 90% уровня надежности пределы интервала конфиденции для *кирпичного здания* будут 0,650 и 0,890, а для *блочного* — 0,450 и 0,945. Это означает, что при приведенном выше уровне надежности подача количества тепла в 0,890_{расч.} или 0,945_{расч.} покрывает действительную потребность.

С целью сопоставления пределы интервалов конфиденции нами разработаны еще для двух уровней надежности. К более низкому уровню надежности, разумеется, относится более узкий интервал и в результате этого уменьшается и верхний предел.

На уровне 80% надежности пределы интервала конфиденции для *кирпичного здания*: 0,660 и 0,845, а для *блочного* 0,515 и 0,890; на уровне 70% надежности для *кирпичного здания* имеем 0,680 и 0,830, а для *блочного* — 0,550 и 0,835.

Рассчитанные описанным выше методом интервалы конфиденции слишком широки, и в результате этого очень высоким получается и верхний предел. Расчеты выполнены с использованием данных первого периода измерений, но после обработки производимых в настоящее время измерений можно предполагать значительное сужение интервалов и более низкие значения, действительные для неизменного уровня надежности, где согласно зависимости (14) увеличение n и связанное с этим уменьшение t влечет за собой уменьшение ширины интервала.

5.2. Измерения, касающиеся внутреннего состояния помещений

Строительные нормы и правила предусматривают для жилых помещений внутреннюю температуру в 20° С. При непрерывном отоплении тепловые потери рассчитываются для температуры воздуха в 18° С.

В результате теплоснабжения, превышающего необходимые масштабы, внутренняя температура жилых помещений, как правило, значительно превышает заданное значение. Как в *кирпичном*, так и в *блочном* здании вообще регистрировалась температура воздуха в пределах 22—24° С, но нередко температура была в пределах 26—27° С. К этому состоянию жильцы привыкли настолько, что заданную внутреннюю температуру, достигнутую точной регулировкой отопительного устройства или автоматическим регулированием, они считали очень низкой и многие из жильцов жаловались.

Кроме регистрации температур помещений мы имели возможность производить более детальные исследования в одной квартире, выделенной специально для целей измерения в *блочном здании*. (Как с физиологической точки зрения, так и с точки зрения конструкции более критическим является блочное здание.) Отведенное для измерений помещение имеет внутреннее расположение и находится между двумя этажами.

Измерения, выполненные при помощи термометра с шаром Мисенара, отклоняются от температуры воздуха только на десятые доли градуса Цельсия.

Поверхностные температуры окружающих поверхностей с физиологической точки зрения приятные, и их можно считать даже слишком теплыми. Из числа данных поверхностной температуры, полученных при различных наружных температурах без внешнего вмешательства в режим отопления, на рис. 11 приведено несколько, все они были зарегистрированы при тем-

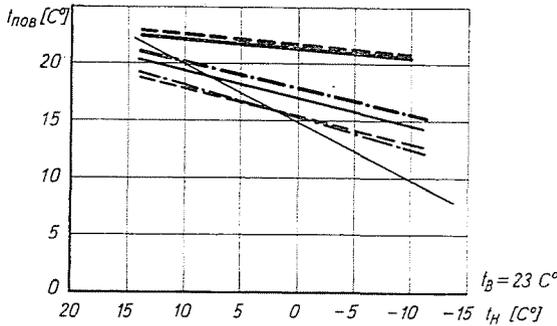


Рис. 11. Температуры на внутренних поверхностях
 — — — внутренняя стена
 ————— потолок
 — · — · — наружная стена
 — — — оконная коробка
 — — — нижняя кромка стены
 — · — · — верхняя кромка стены
 — — — внутренняя поверхность окна

пературе воздуха 23° С. Некоторые из них изменяются по линейному закону в зависимости от наружной температуры.

Температура потолка, пола и внутренних перегородок изменяется в пределах 20—22,5° С. Снижение наружной температуры вызывает лишь незначительное снижение этих температур. Вследствие лучистого теплообмена с поверхностью наружной стены. Температура внутренней плоскости наружной стены на уровне головы, замеренная на одинаковом расстоянии от оконной коробки и от углов, изменялась в пределах 15—21° С. Ввиду того, что имеется только одна ограждающая наружная поверхность, а поверхностная температура ее относительно высока, результирующая температура в помещении весьма близка к температуре воздуха. Естественно, что температура внутренней стеклянной поверхности окна сильнее зависит от наружной температуры: эта величина колебалась в пределах 10 и 22° С. Во время измерений окно не подвергалось воздействию непосредственных солнечных лучей. Непосредственные солнечные лучи, попадающие на окно в январе, феврале и марте месяцах повышают температуру поверхности окна еще на дополнительные 5—6° С.

С точки зрения конструкции замерена поверхностная температура частей, считающихся наиболее опасными с точки зрения образования тепловых мостов. На рисунке изображены значения, замеренные на стыке оконной коробки в верхнем и в нижнем углах стен. Порядок изменения этих величин аналогичен внутренней плоскости наружной стены. Температура в местах стыка оконной коробки изменялась в пределах 14° и 20° С, а температура верхнего и нижнего углов стен изменялась по существу одинаково в пределах 13° и 19° С. Таким образом, воздействие тепловых

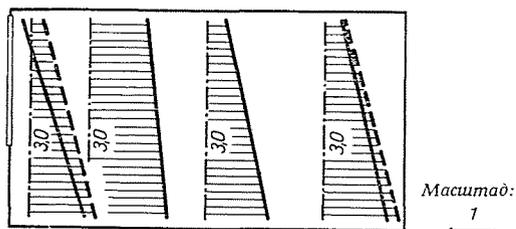


Рис. 12. КАТА-факторы в помещении ($t_{в} = 22^{\circ}$ С, $t_{н} = -1^{\circ}$ С)

мостов не слишком сильное, следовательно, не нужно считаться с опасностью осаждения паров.

Поверхностные температуры, полученные после многосуточной работы отрегулированного на заданную среднюю температуру и автоматически регулируемого электрического отопления, лишь незначительно отклоняются от приведенных выше данных. Температуры, замеренные на внутренней плоскости наружной стены, в верхнем и в нижнем углах стен получались, как правило, на $1,0^{\circ}$ — $1,2^{\circ}$ С ниже, а температуры замеренные на полу, на потолке и на поверхностях внутренних стен, получались на $1,9^{\circ}$ — $2,2^{\circ}$ С ниже величин, указанных на рис. 11. Более заметная разность — $4,0$ — $4,5^{\circ}$ С — отмечалась в температура, замеренных на поверхности окон.

Чтобы возможно было оценить воздействие потока воздуха, кроме воздействия температуры воздуха и лучистого воздействия окружающих поверхностей, выполнено большое число ката-термометрических измерений при помощи матового чувствительного шара.

На рис. 12 иллюстрируется распределение катафакторов, изображенных в продольном разрезе комнаты и снятых в отопительный сезон при считающихся средних данных: при наружной температуре -1° С и при внутренней температуре $+23^{\circ}$ С.

(Все ката-термические измерения были выполнены в период, когда на окно не действовала непосредственная солнечная радиация.) Замеренные ката-факторы находятся на пределе «приятной» и «теплой» зон, причем наименьший ката-фактор составлял 3,69, а наибольший — 4,49. В первом разрезе изображаются две величины, причем первая замерена в оси окна и

радиатора, а вторая — перед наружной стеной. Воздействие радиатора хорошо выделяется на сильном изменении вертикального направления. В разрезах, более удаленных от наружной стены, величина ката-факторов получалась большей, а изменение в вертикальном направлении было меньшим. В наиболее удаленном от наружной стены разрезе изображены опять-таки две величины. Данные, снятые в оси двери, хорошо показывают воздействие воздуха, поступающего через щели находящейся здесь двери.

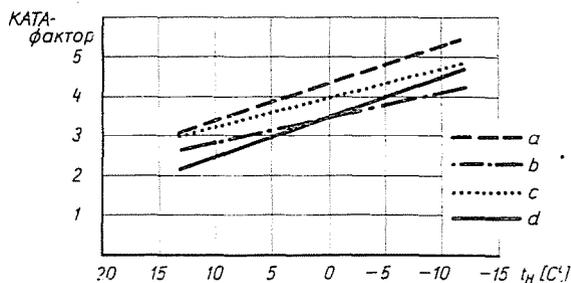
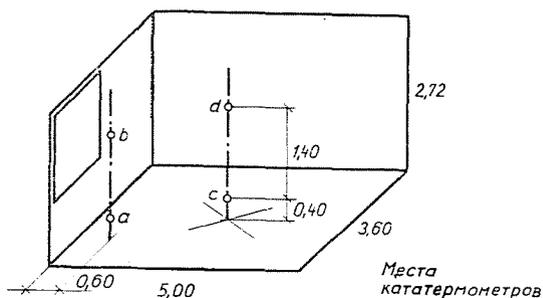


Рис. 13. КАТА-факторы в функции t_n -ой ($t_v = 23^\circ \text{C}$)

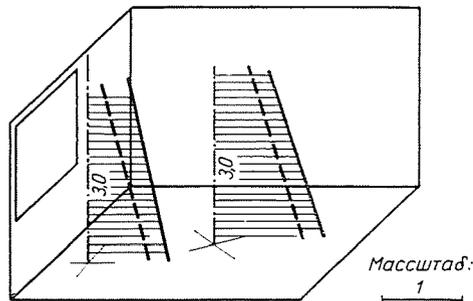
Рассмотрена зависимость между ката-факторами и наружной температурой. На рис. 13 изображены ката-факторы, относящиеся к 4 точкам. Измерения были проведены в каждом случае при внутренней температуре 23°C , причем на окно не действовало непосредственное солнечное излучение.

Ката-факторы, действительные для отдельных точек, имеют такое изменение в функции наружной температуры, которое можно хорошо приблизить прямыми. Сильнее всего изменяется, естественно, катафактор, замеренный перед радиатором, а именно 3,7 и 5,2. В остальных точках ката-факторы находятся в пределах 3,0 и 4,9, следовательно относятся к «приятной» и «теплой» зонам.

Мы исследовали физиологическое воздействие «регулирования» открыванием окон, применяемого часто жильцами при высокой наружной температуре. В табл. 2 приведены ката-факторы, определенные в предыдущих четырех точках при наружной температуре 5°C и при внутренней темпера-

Таблица 2

Точки измерения	I	II
	4,02	4,45
	3,31	3,54
	3,72	4,44
	3,08	3,75

Рис. 14. КАТА-факторы в помещении ($t_{в1} = 23^{\circ} \text{C}$, $t_{в2} = 20^{\circ} \text{C}$, $t_{н} = 7^{\circ} \text{C}$)

туре 23°C , а затем ката-факторы, полученные при открытом окне по истечении 15 минут, считая со времени открытия одного окна. Воздействие проветривания проявляется в увеличении ката-факторов на 0,25—0,7.

В отопительный сезон были и такие дни, когда теплоснабжение превышало фактический теплорасход в такой мере, что оно как с гигиенической точки зрения, так и по мнению жильцов вызвало неприятные физиологические условия: ката-факторы находились в зоне «душной атмосферы». Результаты измерения, выполненного при этих условиях и отнесенные также к предыдущим 4 точкам, иллюстрируются в табл. 3 (Внутренняя температура составляла 27°C , а наружная $+2^{\circ} \text{C}$).

Таблица 3

Точки измерения	Ката-фактор
a	2,01
b	2,12
c	2,212
d	2,12

При одинаковой наружной температуре (7°C) мы проверили распределение ката-факторов при первоначальном режиме работы (внутренняя температура 22°C) и при работе отрегулированного на заданную температуру электронагревателя с автоматическим регулированием. Распределение ката-факторов изображено на рис. 14. В последнем случае ката-факторы находились в пределах 3,92—4,46, значит, по существу, в «приятной» физиологической зоне.

6. Резюме

Из данных измерений теплорасхода для заданного вида здания на уровне надежности, установленного на основании технических, гигиенических и прочих точек зрения, можно определить, какая доля теплорасхода, рассчитанного на основе строительных норм и правил, покрывает фактический нужный расход тепла. Эти данные можно использовать при теплотехнических расчетах новых зданий одинакового типа, режим отопления можно модифицировать в соответствии с вероятной потребностью. Ввиду того, что нормы и правила, действующие в странах Европы, дают почти одинаковые расчетные тепловые потери (4), вопрос внедрения этого модифицированного параметра заслуживает внимания и в других странах.

Для выбора уровня надежности рекомендуется учитывать также метеорологические воздействия, и в первую очередь — воздействие ветра. С физиологической и конструктивной точек зрения (осаждение паров) предлагаемое уменьшение теплоснабжения не связано с вредными последствиями.

Литература

1. Műszaki előírások fűtőberendezések tervezésére. Építésügyi Minisztérium, Budapest, 1965.
2. ГОКИН: Épületszerkezetek hőtechnikája. Népszava, Budapest, 1952.
3. RÉNYI: Valószínűségyszámítás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1954.
4. KRISCHER: Die Wärmebedarfsrechnung von Gebäuden und die Möglichkeiten ihrer Vereinheitlichung. München, 1964.
5. GRÖBER—ERK—GRICOLL: Wärmeübertragung. Berlin, 1955.
6. ШКЛОВЕР: Теплоустойчивость зданий. Госэнергоиздат 1952, Москва.
7. HOMONAY—MOLNÁR: Forróvíz-távfűtések központi és helyi hőmérsékletszabályozása. Budapesti Műszaki Egyetem, 1966.

Йожеф Меньхарт	} Будапешт XI., ул. Штоцек д. 4.
Андраш Зельд	