

## Бетонные отопительные приборы

*Ведущий инженер-конструктор А.А. Фролов\*,  
РУП «Институт БелНИИС»*

В настоящее время в связи с развитием технической базы разрабатываются более эффективные отопительные приборы, улучшаются их экологические характеристики. Большое значение придается тому, чтобы содержать эти устройства и системы на высоком техническом уровне и обеспечивать удобство обслуживания.

Разработка и конструктивное исполнение отопительных приборов должно рассматриваться не только с точки зрения законодательных предписаний и технических требований, но и с точки зрения пользователя. Должны приниматься во внимание энерго-экономические и экологические требования. Таким образом, перед конструкторами стоит задача создания отопительных систем с позиции теплотребления, изменения термического сопротивления ограждающих конструкций, выбора поверхности нагрева, расчета оптимальных размеров, а также выбора соответствующих частей системы: отопительных приборов, арматуры, насосов и т.д.

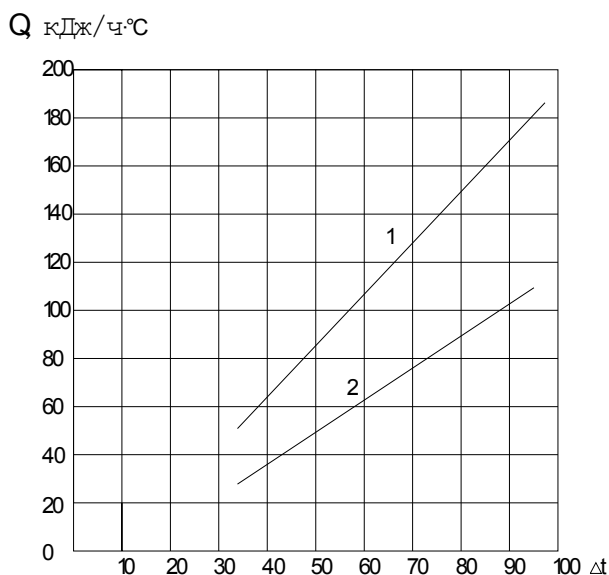
Объём строительства жилья в Республике Беларусь увеличивается с каждым годом, однако его стоимость на сегодняшний день не всегда удовлетворяет потребителя. Определенная доля себестоимости квадратного метра жилья приходится на отопительные приборы (как один из основных элементов системы отопления). Снизив стоимость отопительного оборудования при сохранении необходимой теплоотдающей способности, можно добиться снижения стоимости жилья.

На сегодняшний день в Республике Беларусь освоен выпуск отопительных приборов из стали и алюминия, биметаллических отопительных приборов, а также продолжается выпуск усовершенствованных чугунных радиаторов. Кроме того, значительная доля рынка приходится на ввозную продукцию, что должно повлиять на развитие отечественного производителя по пути импортозамещения. Производство указанных отопительных приборов сопряжено со значительными затратами энергии, а в случае выпуска чугунных радиаторов наносится серьезный вред окружающей среде.

Альтернативой традиционным радиаторам и конвекторам могут стать бетонные отопительные приборы. Бетон является прекрасным строительным материалом, позволяющим использовать его для изготовления почти всех элементов зданий, в том числе отопительных устройств – нагревательных приборов, выполненных в виде тонких плит.

### *Теоретическое исследование бетонных отопительных приборов*

Поскольку экономическая эффективность нагревательного прибора в основном определяется расходом металла на единицу отдаваемого им тепла, для изготовления трубных нагревательных элементов бетонных приборов целесообразно применять трубы малых сечений с тонкими стенками, имеющие малый вес.



**Рисунок 1. График теплоотдачи 1 м трубы  
(теплоноситель – вода)**

Исследования показали, что теплоотдача с 1 кг металла газовых труб, заложенных в бетонные приборы с двусторонней теплоотдачей, достигает 3,8 кДж/кг·час·град, а для радиаторов – всего 1 кДж/кг·час·град. Таким образом, при применении бетонных отопительных приборов можно сократить расход металла в среднем в 4 раза по сравнению с чугунными приборами, работающими в одинаковых условиях [1].

В отопительном приборе бетон является тепловой изоляцией, у которой теплопроводность велика, а термическое сопротивление теплоотдаче низкое. Поэтому важно рационально решить задачу конструктивных особенностей трубных нагревательных элементов и их размещение в бетоне на основе учета законов передачи тепла от монолитных труб к поверхности прибора.

На рис. 1 показан график теплоотдачи 1 м трубы  $\varnothing 3/4"$ , где в качестве теплоносителя использовалась вода.

Прямая 1 графика характеризует теплоотдачу трубы, замоноличенной в бетоне, а прямая 2 – теплоотдачу оголенной трубы. При стандартном перепаде температур в 70°C теплоотдача замоноличенной трубы на 60% больше, чем неизолированной трубы того же диаметра [1].

Для бетонных нагревательных приборов можно применять теплоноситель с высокими параметрами, поскольку температура их поверхности устанавливается на 25-30°C ниже температуры теплоносителя. Это обстоятельство позволяет еще более значительно снизить расход металла на нагревательные элементы.

При проведении теплотехнических испытаний при температуре теплоносителя до 90°C температура на поверхности испытуемого образца не превышает 65°C.

Было установлено, что температура на поверхности испытуемого образца зависит от схемы движения воды. Если воду подавать по схеме снизу вверх, то лучше прогревается нижняя часть, а если подавать воду сверху вниз, лучше прогревается верхняя часть образца.

У бетонных отопительных приборов большая часть тепла передается помещению при помощи излучения, тогда как у радиаторов теплоотдача излучением меньше радиационной составляющей. На эффективность работы бетонного отопительного прибора влияет конструкция, схема расположения нагревательного элемента, а также может влиять и форма лицевой поверхности. Поэтому с целью оптимизации геометрических параметров бетонных отопительных приборов было проведено компьютерное моделирование трех вариантов приборов с различным рельефом лицевой поверхности. Один из вариантов представлен на рис. 2.

Таким образом, применив компьютерное моделирование, были определены конструктивные особенности будущего образца.

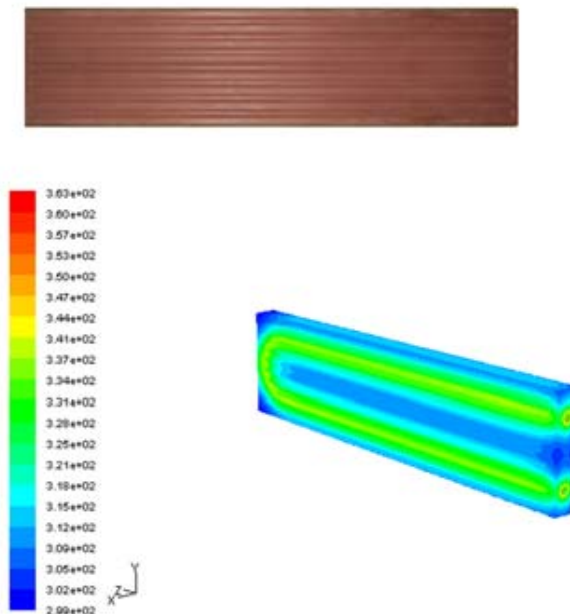
Имея возможность анализировать полученные компьютерные модели, открываются более широкие возможности по усовершенствованию существующих и вновь разрабатываемых конструкций бетонных отопительных приборов, что существенно позволит сократить временные и финансовые затраты на дальнейшие исследования.

### Проведение теплотехнических испытаний экспериментальных образцов

На основе результатов компьютерного моделирования были изготовлены экспериментальные образцы. Внешний вид образцов представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3. Внешний вид экспериментальных образцов (сверху вниз: образец №1, образец №2, образец №3)**



**Рисунок 2. Экспериментальный образец бетонного отопительного прибора и его компьютерная модель**

Испытания выполнялись на установке, содержащей следующее оборудование:

а) испытательную камеру, состоящую из:

- внутреннего ограждения;
- компенсационного ограждения.

в) кондиционер для охлаждения воздуха, циркулирующего между ограждениями;

с) первичный контур, который обеспечивал подачу нагревательной жидкости в испытуемые бетонные отопительные приборы;

Эксперимент проводился в закрытой камере с шестью охлаждаемыми, циркулирующим воздухом, поверхностями.

Температура воздуха, циркулирующего в зазоре между ограждениями, регулировалась так, чтобы обеспечить поддержание температуры воздуха, измеряемой в камере в контрольной точке, расположенной внутри камеры, в пределах значений от 19°C до 21°C с точностью до  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Эксперимент проводился в стационарном режиме, который поддерживался в течение всего периода исследований.

Испытания проводились со следующими значениями средней температуры воды:

$(45 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;

$(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;

$(65 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;

$(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;

Каждое испытание длилось не менее 1 ч, в течение этого периода времени в течение равных, не превышающих 10 мин, интервалов времени регистрировались все измеряемые величины: температуры, расход воды через отопительный прибор.

В ходе испытаний измерялись температуры на входе в испытуемый образец и на выходе из него, а также температура в центре испытательной камеры. Для расчета тепловой мощности использовались средние значения полученных в испытаниях величин.

Для приведения рассчитанной мощности к нормальному давлению ее умножали на поправочный коэффициент:

$$1 + \frac{\beta \Delta p}{p_0}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – поправочный коэффициент равный 0,3 (для радиаторов);

$\Delta p$  – разность действительного и нормального давлений, Па;

$p_0$  – нормальное атмосферное давление, Па.

Тепловая мощность выражалась в следующем виде:

$$\phi = B(t_{mean} - t_a)^n = B(\Delta t)^n, \quad (2)$$

где  $t_{mean}$  – средняя температура первичной жидкости;

$$t_{mean} = (t_e + t_s)/2, \quad (3)$$

где  $t_e$  – температура первичной жидкости на входе;

$t_s$  – то же, на выходе;

$t_a$  – температура воздуха в контрольной точке;

коэффициенты  $B$  и  $n$  рассчитывались методом наименьших квадратов по значениям  $\log \phi$ , как функции  $\log(t_{mean} - t_a) \equiv \log \Delta t$  с учетом весового коэффициента.

Из этой зависимости выводилась номинальная мощность для разности температур между средней температурой воды и контрольной температурой воздуха в испытательной камере,  $\Delta t$ , равной  $70^\circ\text{C}$ .

Используя метод наименьших квадратов, получали следующие выражения для  $\log B$  и  $n$ :

$$\log B = \frac{\sum \varpi \log \phi \sum \varpi (\log \Delta t)^2 - \sum \varpi \log \Delta t \sum \varpi \log \Delta t \log \phi}{\sum \varpi \sum \varpi (\log \Delta t)^2 - (\sum \varpi \log \Delta t)^2} \quad (4)$$

$$n = \frac{\sum \varpi \sum \varpi \log \Delta t \log \phi - \sum \varpi \log \Delta t \sum \varpi \log \phi}{\sum \varpi \sum \varpi (\log \Delta t)^2 - (\sum \varpi \log \Delta t)^2} \quad (5)$$

В результате компьютерного моделирования и натуральных испытаний экспериментальных образцов были получены следующие результаты.

Образец №1

№ п/п	$T_{\text{под}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{обр}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пом}}, ^\circ\text{C}$	G, л/с	q, Вт	Q, Вт
1	49,96	49,42	49,69	21,50	0,1	319,0	710,0
2	59,87	59,14	59,50	19,43		363,0	
3	65,05	64,15	64,60	19,87		475,0	
4	75,05	73,64	69,48	20,58		614,0	

Образец №2

№ п/п	$T_{\text{под}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{обр}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пом}}, ^\circ\text{C}$	G, л/с	q, Вт	Q, Вт
1	45,03	44,28	44,65	20,83	0,1	309,0	830,0
2	55,13	54,06	54,59	19,64		443,0	
3	65,09	63,08	64,44	19,70		530,0	
4	75,03	73,40	74,22	19,48		670,0	

Образец №3

№ п/п	$T_{\text{под}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{обр}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пом}}, ^\circ\text{C}$	G, л/с	q, Вт	Q, Вт
1	45,03	44,29	44,66	20,25	0,1	306,0	742,0
2	55,05	54,01	54,53	19,80		430,0	
3	65,15	63,91	64,53	19,45		509,0	
4	75,05	73,58	20,57	19,92		600,0	

### Заключение

Результаты компьютерного моделирования и эксперимента показали, что бетонные отопительные приборы как альтернатива существующим отопительным приборам имеют значительный потенциал для дальнейшего совершенствования и массового внедрения.

Из проведенных исследований можно сделать предварительный вывод о том, что влияние рельефа лицевой поверхности на теплоотдающую способность отопительного прибора имеет место быть. Однако это требует дальнейших более детальных исследований: построения более сложной компьютерной модели, учитывающей больше критериев для расчетов, проведения большего числа натуральных экспериментов с различными параметрами сред и т.д.

В жилищном и промышленном строительстве применение рассмотренных выше бетонных отопительных приборов, элементы которых конструктивно могут быть связаны с частями зданий, является необходимым и оправданным, так как изготовление таких приборов не несет за собой значительных материальных затрат и может быть освоено любым домостроительным комбинатом, что даст соответствующий экономический эффект. Бетонные отопительные приборы могут стать объектом более пристального внимания в связи с тенденцией к увеличению термического сопротивления ограждающих конструкций.

Высокие эксплуатационные и санитарно-гигиенические показатели бетонных отопительных приборов подтверждают целесообразность широкого внедрения в практику современного проектирования систем отопления, жилищного и гражданского строительства.

### Литература

1. Либер И.С. Системы отопления с бетонными нагревательными поверхностями. Л., 1966.

Алексей Александрович Фролов, г. Минск

Тел. раб.: 8(10-375-17) 267-10-01, эл. почта: info@belniis.by