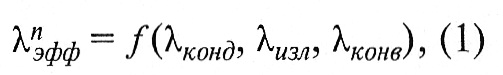
**7. Теоретические аспекты улучшения теплотехнических характеристик пористых систем.**

В научных публикациях, посвященных пенобетонам, нередко высказывается мысль о необходимости совершенствования поровой структуры материала с целью сближения ее геометрических характеристик с газобетоном автоклавного твердения [1]. При этом предполагается, что улучшение поровой структуры пенобетона позволяет существенно повысить физико-механические характеристики камня и снизить коэф­фициент теплопроводности при той же средней плот­ности поробетона. Однако эта точка зрения является дискуссионной.

Известно, что коэффициент теплопроводности любого газонаполненного материала в общем случае зависит от теплопроводности твердой и газообразной фаз, входящих в состав рассматриваемого объекта. Вклад каждого из этих компонентов газонаполненной системы и в конечном счете численное значение ко­эффициента теплопроводности прежде всего зависит от их количественного содержания в материале. По мере уменьшения средней плотности содержание твердой фазы в материале падает и соответственно снижается вклад твердой фазы в численное значение коэффициента теплопроводности и другие технологи­ческие и эксплуатационные характеристики газона­полненных систем.

Можно предположить, что изменение поровой структуры, размера и формы пор меньше повлияет на теплозащитные свойства материала при средней плотности 150—300 кг/м3, чем при средней плотности 600 кг/м3 и более.

Теплоперенос в порах стеновых материалов осу­ществляется различными механизмами — теплопровод­ностью газа, тепловым излучением между стенками пор и конвекцией. При расчетах теплопроводности чаще всего предполагается, что указанные процессы являют­ся независимыми и эффективную теплопроводность ƛэфф nможно представить в виде:

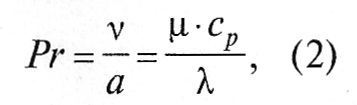


где λ конд — составляющая, связанная с теплопроводнос­тью газа; λ изл — составляющая, обусловленная тепловым излучением между стенками пор; λ конв — конвективная составляющая теплопроводности.

Очевидно, что теплозащитные свойства газонапол­ненной поры в определенной степени зависят от природы газа, содержащегося в ней. Сравним тепло­изоляционные свойства газо- и пенобетонов, приняв во внимание, что поры первого заполнены водородом, а второго — воздухом. Наиболее важным в проблеме оценки теплозащитных свойств легких бетонов с пора­ми различного размера является вопрос о роли конвек­тивной составляющей в переносе теплового потока. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Коэффициент теплопроводности водорода в нор­мальных условиях составляет 0,183 Вт/(м °С), тогда как воздуха - 0,0262 Вт/(м-°С) [2], что обусловлено малым размером и высокой подвижностью молекул водорода в сравнении с азотом и кислородом. Следовательно, на интенсивность конвективных потоков в газообразной среде оказывает влияние внутреннее трение, которое характеризуется вязкостью. Коэффициент динамичес­кой вязкости водорода (8,94-10-° Па с) вдвое меньше, чем воздуха (18,5-10\_6 Па с). Сопоставление их теплоза­щитных свойств затруднительно из-за большой разни­цы численных значений их плотностей, поэтому пред­лагаем использовать для сравнения критерии подобия Прандтля, Грасгофа и Рэлея.

Критерий Прандтля:

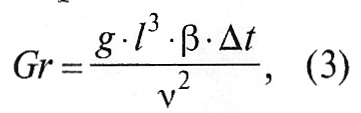


где v — коэффициент кинематической вязкости, м2/с, который равен µ/ρ; a — температуропроводность, м2/с, равная λ/ср\*ρ; µ — коэффициент динамической вязкости, Па\*с; ср - теплоемкость, Дж/(кг\*°С); ƛ — ко­эффициент теплопроводности, Вт/(м °С); ρ — плот­ность газа, кг/м3.

Критерий Прандтля характеризует подобие физиче­ских свойств теплоносителей в процессах конвективно­го теплообмена. Он является мерой подобия полей тем­ператур и скоростей, показывает отношение сил вязко­сти к интенсивности теплопереноса.

Критерии Грасгофа и Рэлея описывают процессы в поле силы тяжести.

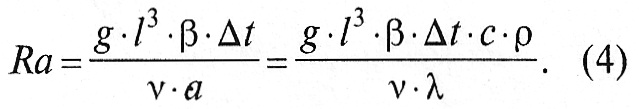
Критерий Грасгофа:



где g — ускорение свободного падения, м/с2; β — коэф­фициент объемного теплового расширения газа, °С-1; Δt — разность температур, °С.

Критерий Грасгофа представляет собой меру соот­ношения сил внутреннего трения (вязкости) и подъем­ной силы, определяемой разностью плотностей в раз­личных точках неизотермического потока.

Критерий Рэлея:



Критерий Рэлея показывает отношение величины теплового расширения к силам вязкости и теплопро­водности.

Нетрудно заметить, что критерий Рэлея является произведением критериев Грасгофа и Прандтля, т. е.:

научно-технический и производственный журнал

C:\Users\wolf\Desktop\формула5(7).jpg

Критерии подобия могут быть получены для любого процесса, если известны аналитические зависимости между характеризующими его величинами — диффе­ренциальные уравнения, описывающие процесс [3].

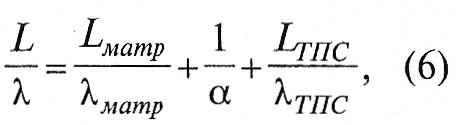
Сложный характер структуры и механизма теплопереноса в дисперсных телах (теплопроводность, конвек­ция, излучение и др.) обусловил применение к ним тер­мина «эффективная теплопроводность» [4, 5].

В настоящее время можно считать доказанным, что эффективные теплофизические свойства материала в общем случае зависят от размеров образцов, их формы, скорости подъема температуры, величины теплового потока [5—7].

Тепловое излучение играет существенную роль при температуре более 600°С [3]. Так как ограждающие кон­струкции из пено- и газобетона эксплуатируются при более низких температурах, то этой составляющей мож­но пренебречь.

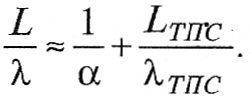
Передача тепла теплопроводностью будет склады­ваться из λ Mamp и λ ячеек. Последняя состоит из теплопро­водности теплового пограничного слоя (λ тпс), тепло­проводности слоя газа в объеме ячейки и конвективно­го теплопереноса в поре (коэффициент теплоотдачи а).

Таким образом, тепловое сопротивление ячеистого материала будет иметь следующий вид:



где L — определяющий геометрический размер; LMamp — толщина межпоровой перегородки, которая имеет не­большое численное значение; Lтпс—толщина теплово­го пограничного слоя.

Поскольку коэффициент теплопроводности матри­цы сравнительно высок, то:



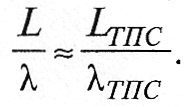
Условия перехода от теплопереноса методом тепло­проводности к конвективной теплоотдаче оценивается по численным значениям критериев Рэлея, Грасгофа, Прандтля. Численное значение критерия Рэлея пред­ставлено в таблице.

метром пор 0,5 мм и разницей значений температуры в пределах поры 1°С Gr-Pr = 3,1\*10-4; для поры 3 мм и А Т= 5°С: Gr-Pr = 0,34, что гораздо меньше указанной величины, т. е. естественная конвекция в порах газобе­тона практически отсутствует.

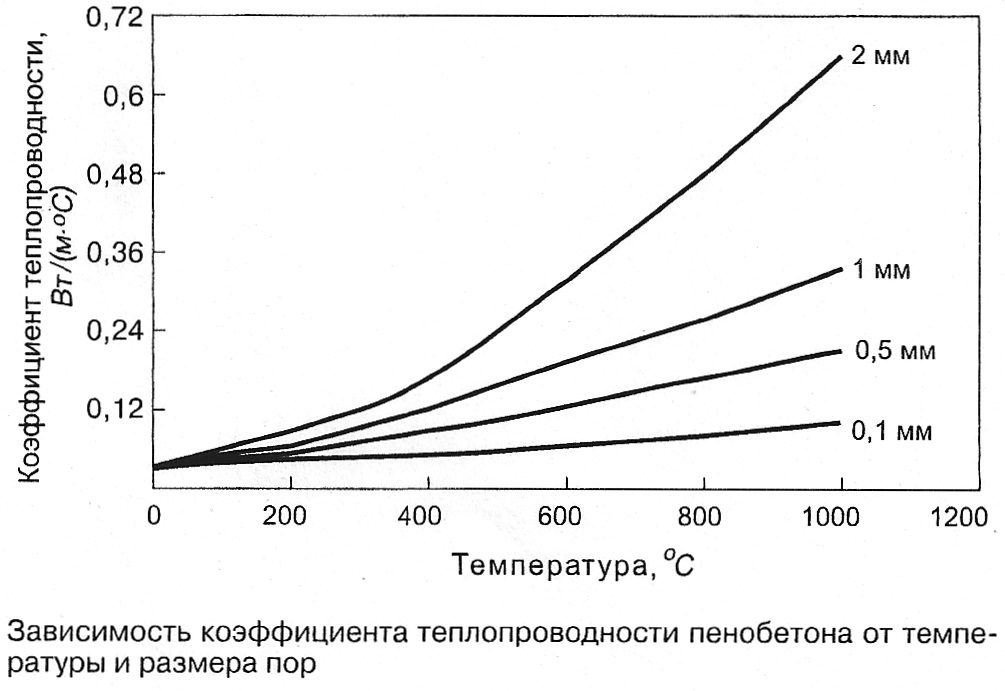
Для пенобетона с диаметром пор 0,5 мм и разницей значений температуры в пределах единичной поры 1°С GrPr= 0,0156; для поры 3 мм и ΔT= 5°С: Gr Pr= 16,87. Необходимо подчеркнуть, что приведенные расчеты от­носятся к единичной поре. Сделанное при этом допу­щение о разности значений температуры, в пределах одной поры равной 1°С, означает, что при толщине ограждающей стены, равной как минимум 20—30 см, общий перепад температур превышает 100°С, что зна­чительно превосходит реальные величины.

Анализ результатов работы [8] показывает, что кон­векция в горизонтальном слое пористого материала, подогреваемого снизу, начинается при критическом значении критерия Рэлея RaKp > 40. Во всех рассматри­ваемых случаях критерий Рэлея меньше 40. Это означа­ет, что конвективной составляющей в тепловом сопро­тивлении можно пренебречь.

Таким образом:



Отсюда следует, что определяющую роль при переносе тепла играет пограничный слой.



На рисунке показана зависимость коэффициента теплопроводности от температуры для материала с различным размером пор [5]. Очевидно, что чем боль­ше размер пор, тем сильнее повышается коэффициент теплопроводности с ростом температуры. При этом в области до 100°С размер пор очень слабо влияет на ко­эффициент теплопроводности. При комнатной тем­пературе коэффициент теплопроводности пенобетона (см. рисунок) в интервале диаметров пор 0,1—2 мм практически не зависит от температуры, тогда как с ростом температуры размер оказывает все большее влияние на коэффициент теплопроводности. Это явление объясняется теорией теплового пограничного слоя [3]. Согласно этой теории на внутренней по­верхности пор, заполненных воздухом или другим газом, имеется тонкий слой, удерживаемый силами межмолекулярного притяжения, который обладает большим термическим сопротивлением. Этот слой достаточно устойчив при комнатной температуре, но при повышении температуры до 200—500°С раз- упрочняется и утончается, что вызывает быстрый рост коэффициента теплопроводности с увеличением температуры.

При наличии устойчивого теплового пограничного слоя конвективные потоки в порах, движущиеся от од­ного пограничного слоя к другому, мало влияют на теплоперенос в порах газонаполненного материала. В свя­зи с этим теплозащитные свойства газонаполненных материалов прежде всего зависят от толщины теплового пограничного слоя и в меньшей степени от конвектив­ной составляющей.

Исходя из вышеизложенного можно сделать

вывод о том, что коэффициент теплопроводности для теплоизо­ляционных ячеистых материалов — пенобетона, газобе­тона при температуре до 30—40°С мало зависит от фор­мы и размера ячеек. Совершенствование поровой структуры не дает существенного улучшения теплофизических свойств, однако оказывает большое влияние на физико-механические свойства и долговечность из­делий и конструкций из поробетонов.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диаметр пор, мм | Значения критерия Rа при разнице значений температуры, °С | | | | |
| 1. | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Для пенобетона | | | | | |
| 0,5 | 0,015624327 | 0,031249 | 0,046873 | 0,062497 | 0,078122 |
| 1 | 0,124994613 | 0,249989 | 0,374984 | 0,499978 | 0,624973 |
| 2 | 0,9999569 | 1,999914 | 2,999871 | 3,999828 | 4,999785 |
| 3 | 3,374854539 | 6,749709 | 10,12456 | 13,49942 | 16,87427 |
| Для газобетона | | | | | |
| 0,5 | 0,00031 | 0,00063 | 0,00094 | 0,00126 | 0,00157 |
| 1 | 0,00252 | 0,00504 | 0,00756 | 0,01007 | 0,0126 |
| 2 | 0,02015 | 0,0403 | 0,06045 | 0,0806 | 0,10074 |
| 3 | 0,068 | 0,136 | 0,20401 | 0,27201 | 0,34001 |