

ФГБУ ВПО «Астраханский государственный технический университет»

Кафедра «Теплоэнергетика»

Лекция № 1а на тему:

# Теплопроводность

По дисциплине «Тепломассообмен»

# \*Газы

*Теплопроводность газов.* Согласно молекулярно-кинетической теории теплопроводность в газах обусловлена взаимным обменом энергией при соударениях молекул между собой.

Молекула, обладающая большей кинетической энергией, передает последней часть своей энергии, что приводит к выравниванию температуры в газе.

В газах (так же как и в жидкостях) теплопроводность в чистом виде наблюдается лишь в очень тонких слоях и при таком их расположении, когда молекулы с наибольшей энергией ( т.е. наиболее нагретые) находятся наверху. При наличии слоя газа или жидкости конечной толщины обычно возникает конвекция .

Для газов коэффициент теплопроводности может быть определён согласно кинетической теории газов

$$\lambda = \frac{1}{2} m_{\mu} N_{\mu} \bar{l}_{\mu} \bar{w}_{\mu} c_v = \frac{1}{3} \rho c_v \bar{l}_{\mu} \bar{w}_{\mu} ,$$

Где  $m_{\mu}$  - масса одной молекулы;  $N_{\mu}$  - число молекул в единице объёма;  $\bar{l}_{\mu}$  - средний пробег молекулы;  $\bar{w}_{\mu}$  - средняя арифметическая скорость движения молекул;  $c_v$  - теплоёмкость при постоянном объёме.

Так как  $\bar{l}_{\mu}$  обратно пропорционален  $N_{\mu}$ , то  $\lambda$  газов не зависит от давления среды, что подтверждено экспериментальными данными. Отсюда же следует увеличение  $\lambda$  газов с ростом температуры (рис. 6.2)

Изменение коэффициента теплопроводности газов в зависимости от температуры рассчитать с помощью соотношения

$$\lambda = \lambda_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^n$$

Значения  $\lambda_0$  при  $T_0 = 273 \text{ K}$  и  $n$  некоторых газов приведены в таблице 6.1.

Коэффициент теплопроводности может быть подсчитан по эмпирическому соотношению в зависимости от плотности  $\rho$ ,

$$\lambda = \lambda_0 + C_p \rho^n$$

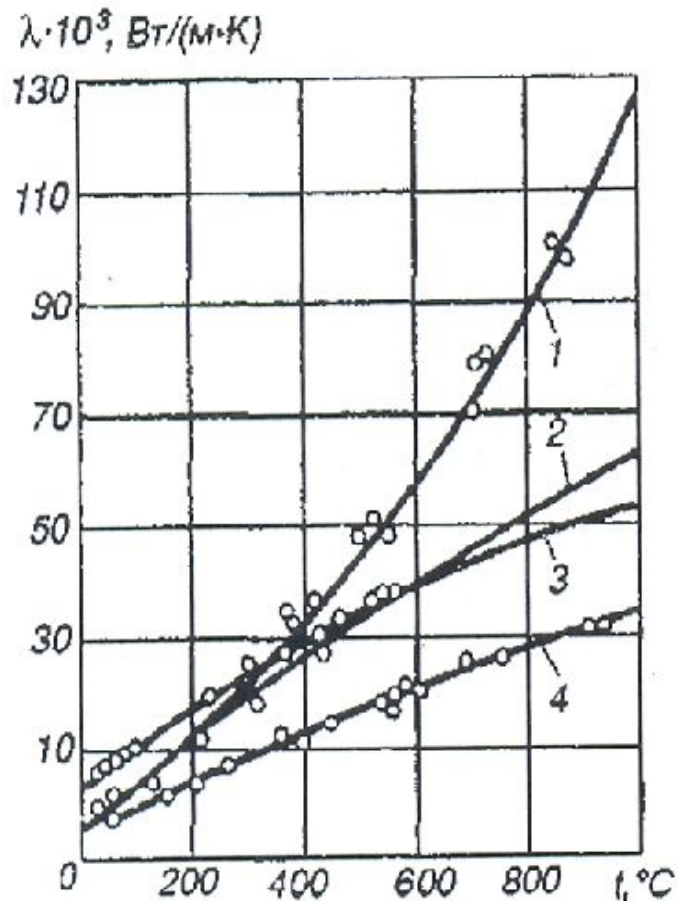


Рис. 6.2 Зависимость теплопроводности некоторых газов от температуры : 1- водяной пар; 2-Углекислый газ; 3- воздух; 4-аргон

Теплопроводность водяного пара, включая кривую насыщения и сверхкритическую область, можно оценить по формуле :

$$\lambda = 4,443 * 10^{-6} T^{1,45} + 1,55 * 10^{-4} \rho^{1,25},$$

Где  $T$ - температура пара в  $\text{К}$ ;  $\rho$ - его плотность в  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Теплопроводность газов минимальна по сравнению с другими веществами и лежит в примерном диапазоне  $5 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-1} \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

Значения  $C$  и  $P_1$  также даны в табл. 6.1.



Таблица 6.1

Значения коэффициентов  $C$ ,  $n$ ,  $n_1$ 

Газы	$\lambda_0 \cdot 10^3$ Вт/(м*К)	$n$	$C$	$n_1$	Диапазон изменения	
					$P$ , бар	$T$ , °С
Азот	24,19	0,80	$1,93310^{-5}$	1,23	0,5...500	0...300
Аргон	16,51	0,80	$0,75110^{-5}$	1,26	0,5...500	0...600
Водород	172,12	0,78	$3,43110^{-4}$	1,16	1...500	20...200
Воздух	24,42	0,82	—	—	—	—
Гелий	142,58	0,73	$1,8410^{-4}$	1,17	0,5...1000	-268...600
Диоксид углерода	14,89	1,23	$1,00510^{-5}$	1,26	0,5...300	<200
Кислород	24,54	0,87	$1,44910^{-5}$	1,24	$P \dots 500$	535
Криптон	8,89	0,86	—	—	—	—
Ксенон	5,23	0,91	—	—	—	—
Неон	46,40	0,71	—	—	—	—

# \* Жидкости

*Теплопроводность жидкостей.* Жидкости занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. Молекулы жидкости (в отличие от газов) расположены достаточно тесно и совершают сложные периодические движения лишь в определенных ограниченных участках пространства; одновременно каждая молекула находится в сфере действия других молекул. Теплопроводность жидкости осуществляется обменом энергии при соударениях молекул по типу распространения продольных колебаний (аналогично распространению звука).

Теплопроводность жидкостей лежит в диапазоне  $0,1 \dots 1 \text{ Вт/(м}^*\text{К)}$  и уменьшается с ростом температуры (за исключением воды и глицерина). Зависимость теплопроводности ряда жидкостей от температуры дана на рис. 6.3

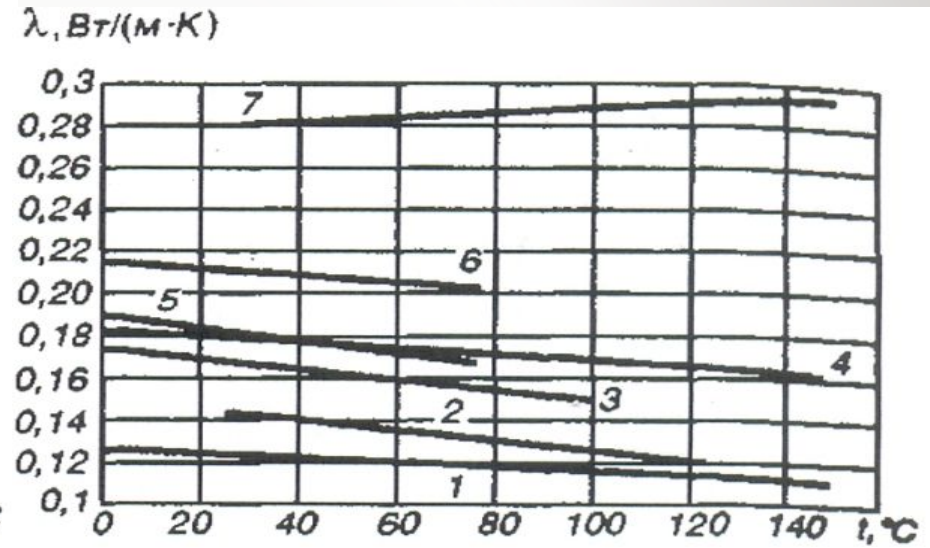
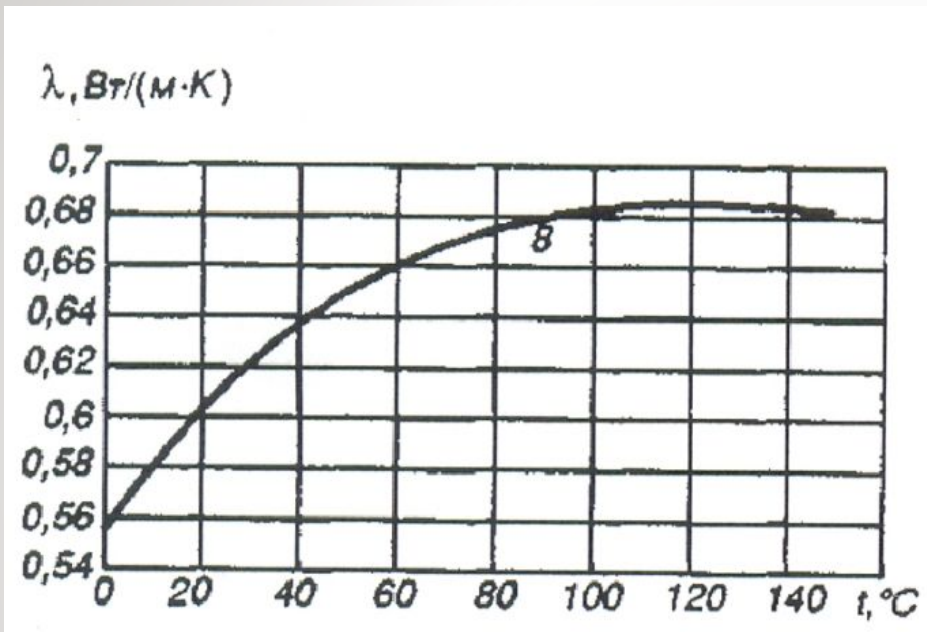


Рис. 6.3. Зависимость от температуры теплопроводности различных жидкостей:  
 1-вазелиновое масло; 2-бензол; 3-ацетон, 4-касторовое масло ; 5-спирт этиловый; 6-спирт метиловый; 7-глицерин; 8-вода.



# \*Металлы

*Теплопроводность металлов.* Теплопроводность чистых металлов, так же как и сплавов, зависит от их кристаллической структуры, размера и ориентации зерен, наличия деформации кристаллической решетки и др. передача теплоты в металлах и сплавах осуществляется за счет движения свободных электронов и упругими колебаниями атомов в узлах кристаллической решетки. Для чистых и хорошо проводящих металлов электронная проводимость является основной. Наличие в металлах примесей, дефектов решетки и т.д. вызывает уменьшение электронной проводимости, поэтому теплопроводность сплавов меньше теплопроводности чистых металлов.

Для сплавов теплопроводность изменяется при изменении химического состава сплава в основном по тем же закономерностям, что и электропроводность. Добавление к металлу с высокой теплопроводностью даже небольшого количества менее теплопроводного металла приводит к резкому снижению теплопроводности сплава. Наоборот, добавление к металлу с низким значением коэффициента теплопроводности высокотеплопроводного компонента не приводит к заметному росту теплопроводности сплава.

Теплопроводность чистых металлов и сплавов лежит в диапазоне  $\lambda = 10 \dots 430$  Вт/(м\*К) и, как правило, уменьшается с ростом температуры, однако для некоторых сплавов может иметь место и неоднозначная зависимость  $\lambda = F(T)$  (рис 6.4)

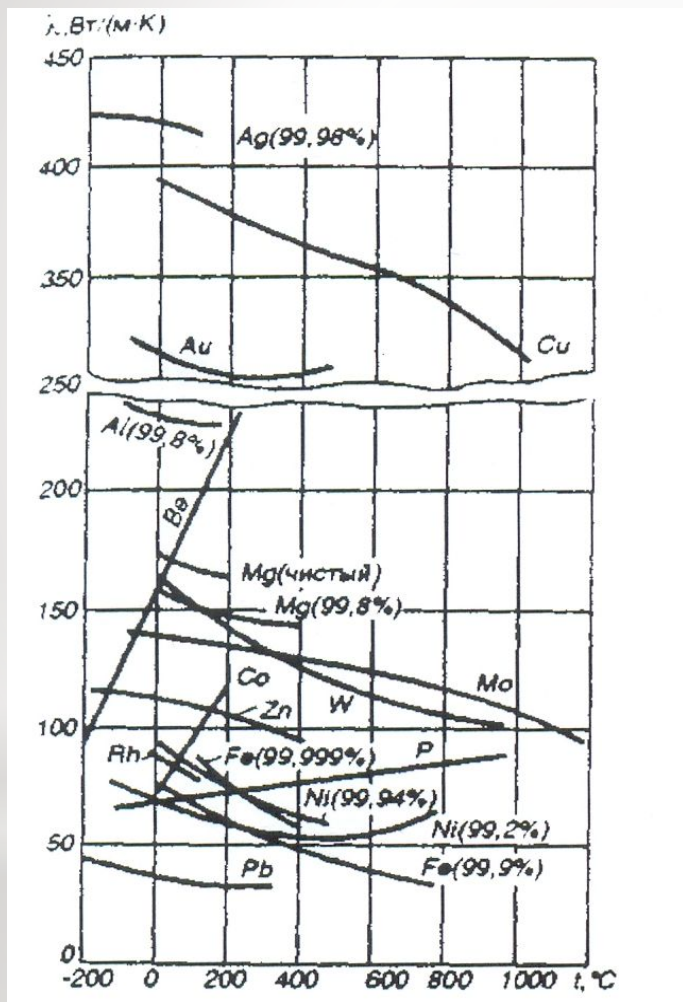


Рис. 6.4. Зависимость от температуры Теплопроводности некоторых металлов И сплавов

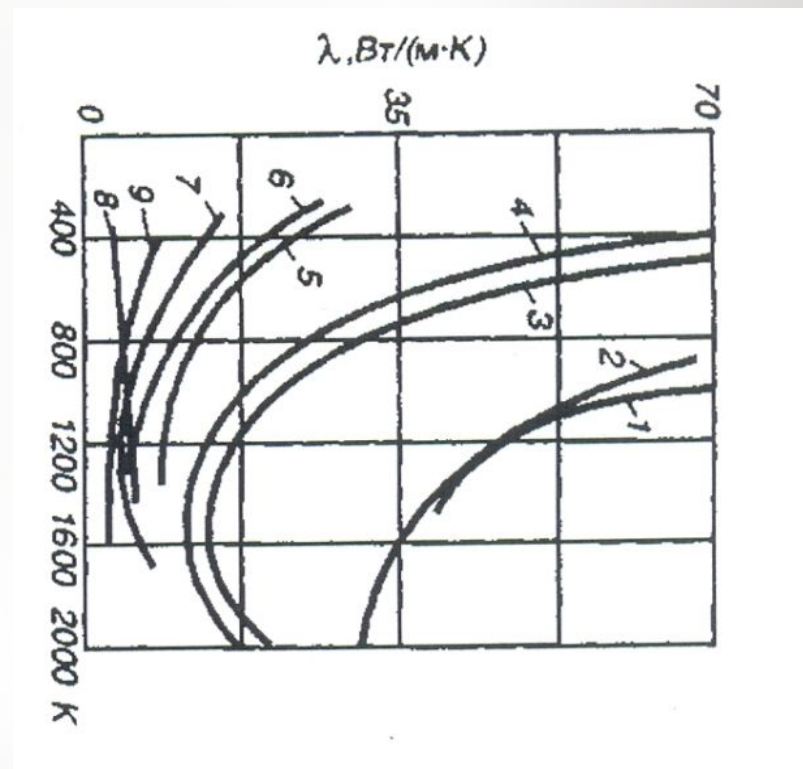


Рис.6.5. Зависимость от температуры теплопроводности ряда поликристаллических материалов: 1-окись бериллия  $\text{BeO}$ ; 2-Карбид кремния  $\text{SiC}$ ; 3-окись магния  $\text{MgO}$ ; 4-окись алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 5-окись никеля  $\text{NiO}$ ; 6-двуокись тория  $\text{ThO}_2$ ; 7-двуокись титана  $\text{TiO}_2$ ; 8-двуокись циркония  $\text{ZrO}_2$ ; 9-  $\text{MgSiO}_4$

# \*Теплоизоляция

*Теплоизоляционные материалы.* К числу изоляционных материалов могут быть отнесены все материалы, обладающим низким коэффициентом теплопроводности (менее 5 Вт/(м\*К) при  $t=0^{\circ}\text{C}$ ).

Теплоизоляционные вещества могут быть неорганического происхождения (асбест, хлопок, дерево, кожа, резина, текстолит и т.д.) и смешанными, т.е. состоящими одновременно из органических и неорганических веществ. Материалы органического происхождения используют в области температур, не превышающих  $+150^{\circ}\text{C}$ . Для более высоких температур применяются материалы неорганического происхождения. Промышленное значение имеют окислы, например, алюминия, магния и других металлов, соли, карбонаты (как, например, известковые породы, мел, магнезит, асбест т.д.) (рис. 6.5).

Теплопроводность твердых теплоизоляционных материалов, как правило, определяется их пористостью (т.е. общим объемом газовых включений, отнесенным к единице объема изоляционного материала), размером пор и влажностью. С ростом влажности теплопроводность увеличивается.

Теплопроводность пористых тел сильно возрастает с температурой и при температурах более  $1300^{\circ}\text{C}$  тепловые изоляторы становятся проводниками тепла.

Сплошные диэлектрические материалы, например стекло, имеют более высокую теплопроводность по сравнению с пористыми материалами.

Установлено так же, что чем выше плотность материала, тем больше его теплопроводность, рис.6.6.

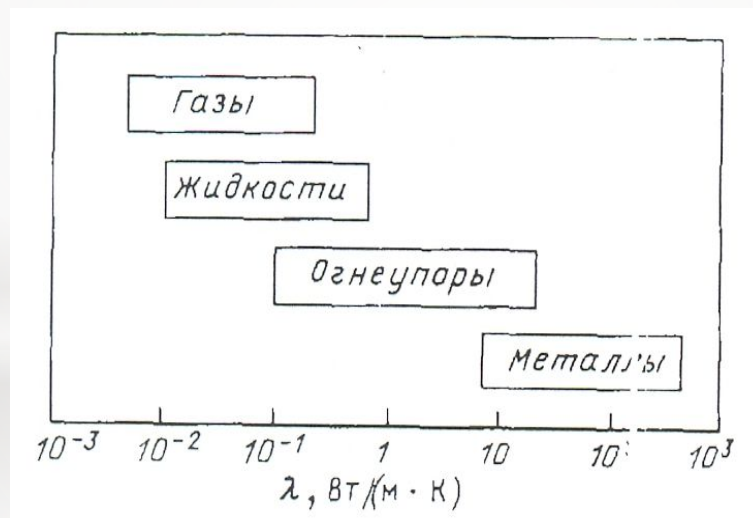
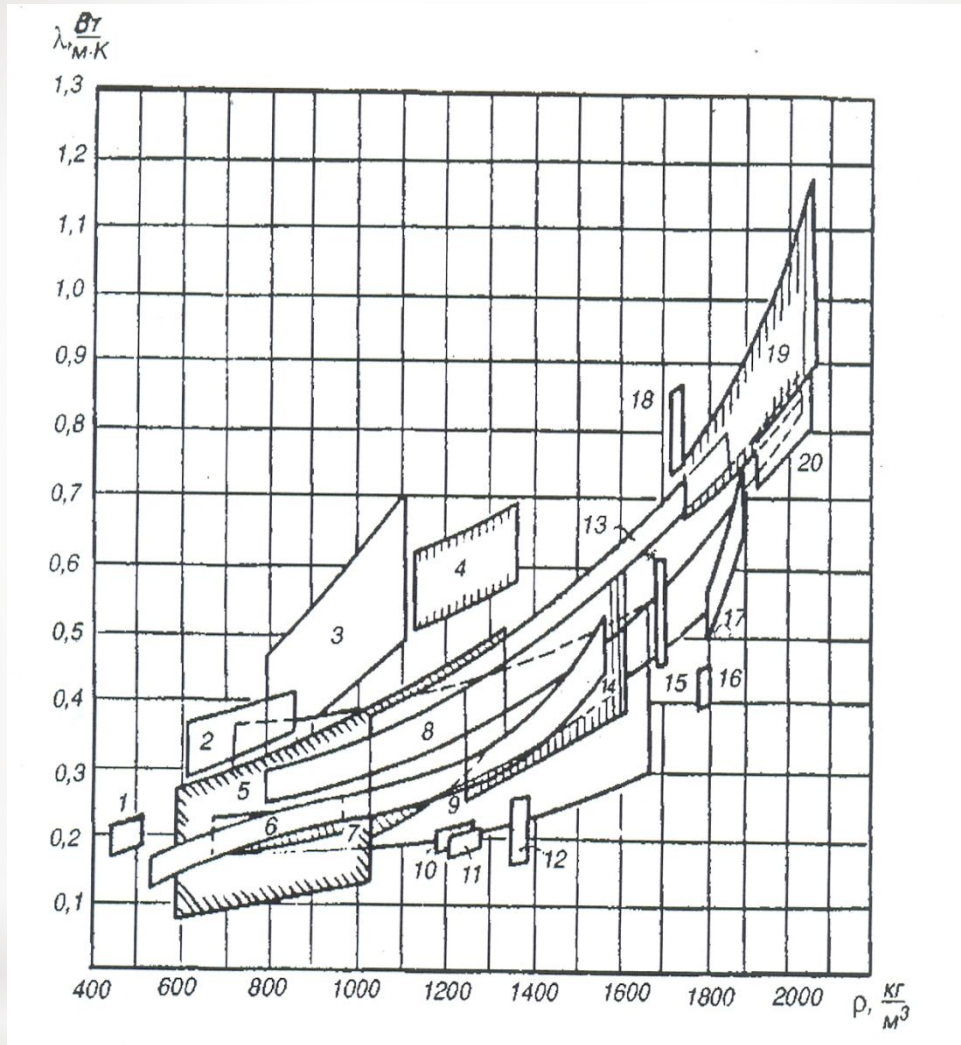


Рис. 8.1. Интервалы значений коэффициентов теплопроводности различных веществ





**Рис. 6.6 Коэффициент теплопроводности строительных материалов в зависимости от плотности, данные:**  
 1-асботермит; 2-асбозурит; 3-аэродоломит; 4-известняк (параллельно слоям); 5-трепельный кирпич; 6-теплый раствор; 7-глиноторфяной кирпич; 8-глиногипс; 9-теплый бетон; 10-алебастровый кирпич; 11-асбестовая штукатурка; 12-кирпич из обожженной глины; 13-ракушечник; 14-известняк (перпендикулярно слоям); 15-глина; 16-болотная руда; 17-красный кирпич; 18-силикатный кирпич; 19-известняк; 20-кислотоупорный кирпич; 21-песчаник



# \*Общая информация

Для многих материалов в нешироком диапазоне температур зависимость  $\lambda = \lambda(T)$  можно описать линейной функцией вида

Таблица 1.2. Значения  $\lambda_0$ ,  $\beta$ ,  $\lambda'_0$  и  $\beta'$  для некоторых теплоизоляционных материалов

Материал	$\lambda_0$ , Вт/(м*К)	$\beta$ , К <sup>-1</sup>	$\lambda'_0$ , Вт/(м*К)	$\beta'$ , 1/°С
Асбест. $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$	0,0551	0,00345	0,107	0,00177
$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$	0,0881	0,00216	0,14	0,00136
Диатомит молотый, $\rho = 450 \text{ кг/м}^3$	0,0145	0,0192	0,091	0,00308
Минеральная стеклянная вата, $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$	-0,123	-0,00521	0,0052	0,0123
Совелит, $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$	0,0663	0,00131	0,0901	0,00096
Шлаковая вата (сорт 0), $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$	0,0204	0,00711	0,06	0,00242

Примечание. Значения  $\lambda_0$  и  $\beta$  соответствуют формуле  $\lambda = \lambda_0(1+\beta T)$ , а  $\lambda'_0$  и  $\beta'$  – формуле  $\lambda = \lambda'_0(1+\beta' t)$ .

$$\lambda = \lambda_0(1+\beta T), \text{ где } T = \frac{T_{\text{ст1}}+T_{\text{ст2}}}{2} \text{ — средняя}$$

где  $\lambda_0$  и  $\beta$  – постоянные, определяемые опытным путем.

Значения  $\lambda_0$  и  $\beta$  для некоторых материалов приведены в таблице 1.2. Наибольшей теплопроводностью обладают металлы. Примеси существенно снижают  $\lambda$ .

# \*Смеси

Теплопроводность газовых смесей не подчиняются закону аддитивности. В этом случае  $\lambda$  находят по экспериментально полученным таблицам, а при их отсутствии - вычисляют по одной из теоретических формул, например по формуле Мейсона – Саксена:

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{l + 1.065 \sum_{k=1}^N G_{lk} \frac{x_k}{x_l}}$$

Где N – число компонентов смеси;

$$x_l = \frac{c_l/M_l}{\sum_{k=1}^N c_k/M_k}$$

(здесь  $c_i$  - массовая доля  $i$ -го компонента (массовая концентрация),  $M_i$  - относительная молекулярная масса);