

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

Так как \bar{l}_{μ} обратно пропорционален N_{μ} , то λ газов не зависит от давления среды, что подтверждено экспериментальными данными. Отсюда же следует увеличение λ 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 λ_0 при $T_0 = 273 \text{ К}$ и n некоторых газов приведены в таблице 6.1.

Коэффициент теплопроводности может быть подсчитан по эмпирическому соотношению в зависимости от плотности ρ ,

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

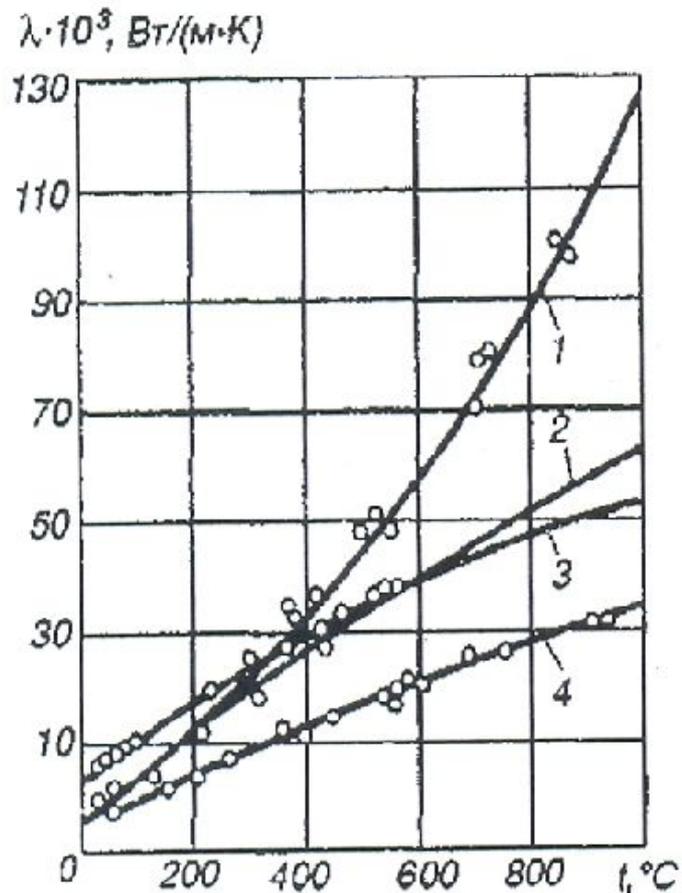


Рис. 6.2 Зависимость теплопроводности некоторых газов от температуры : 1- водяной пар; 2-Углекислый газ; 3- воздух; 4-аргон

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 К ; ρ - 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	$P...500$	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

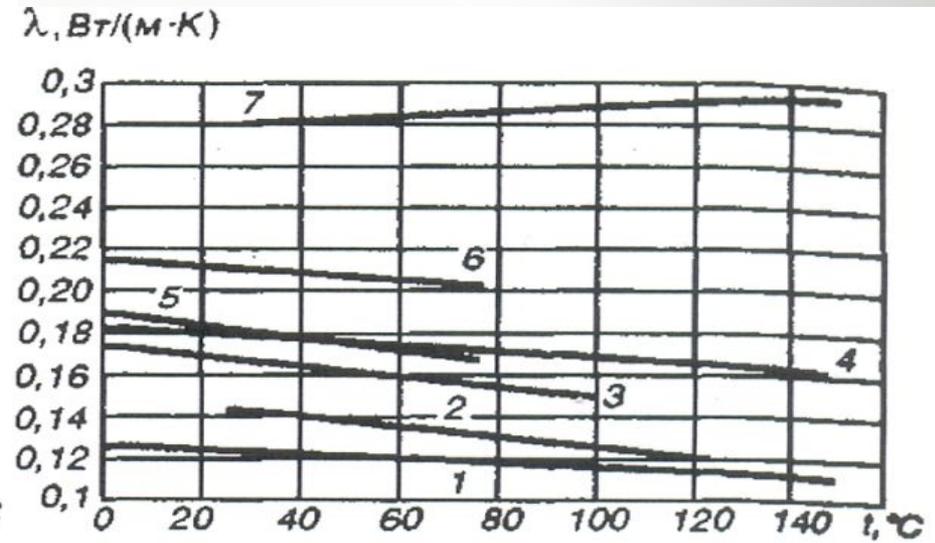
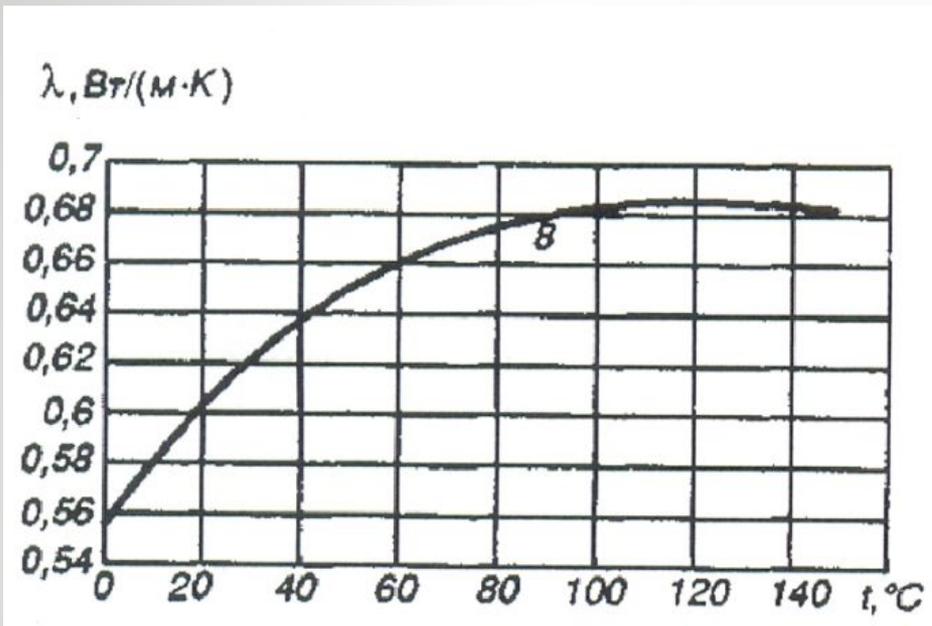


Рис. 6.3. Зависимость от температуры теплопроводности различных жидкостей:
 1-вазелиновое масло; 2-бензол; 3-ацетон, 4-касторовое масло ; 5-спирт этиловый; 6-спирт метиловый; 7-глицерин; 8-вода.

*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)

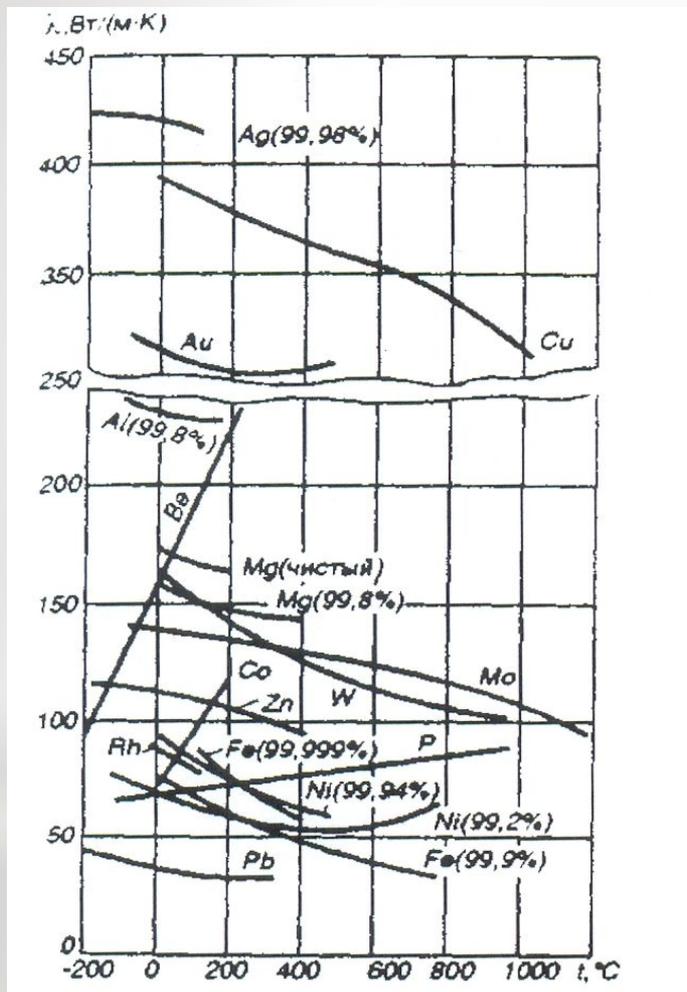


Рис. 6.4. Зависимость от температуры Теплопроводности некоторых металлов И сплавов

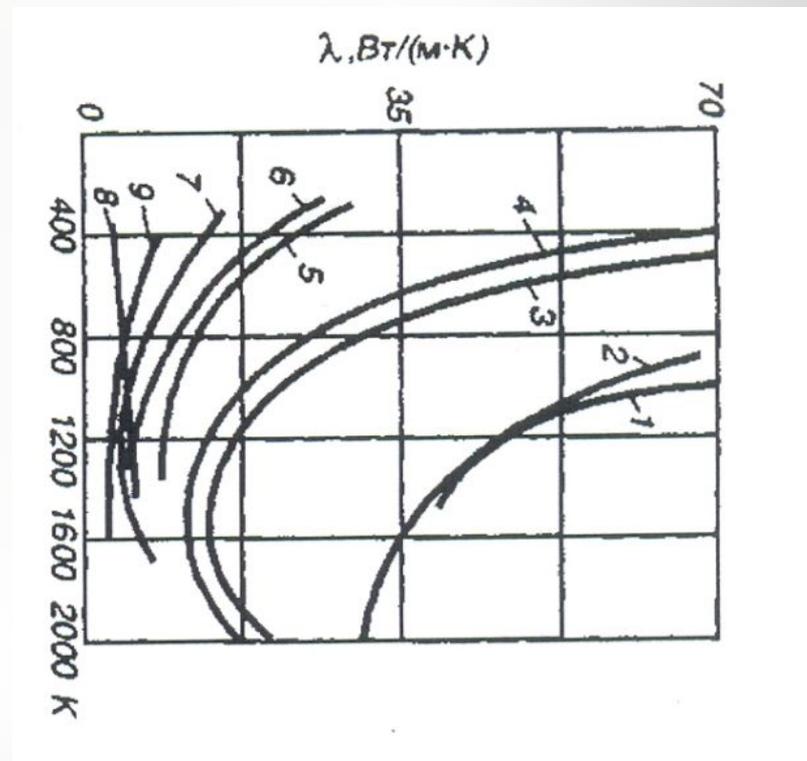


Рис.6.5. Зависимость от температуры теплопроводности ряда поликристаллических материалов: 1-окись бериллия BeO ; 2-Карбид кремния SiC ; 3-окись магния MgO ; 4-окись алюминия Al_2O_3 ; 5-окись никеля NiO ; 6-двуокись тория ThO_2 ; 7-двуокись титана TiO_2 ; 8-двуокись циркония ZrO_2 ; 9- MgSiO_4

*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°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.

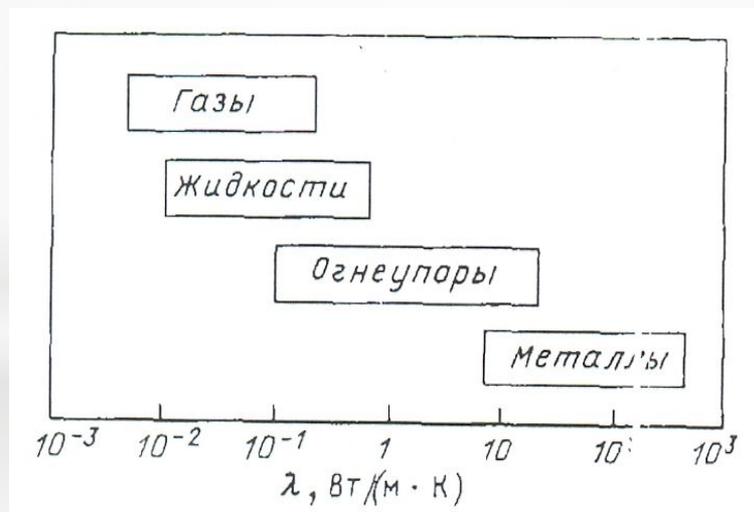


Рис. 8.1. Интервалы значений коэффициентов теплопроводности различных веществ

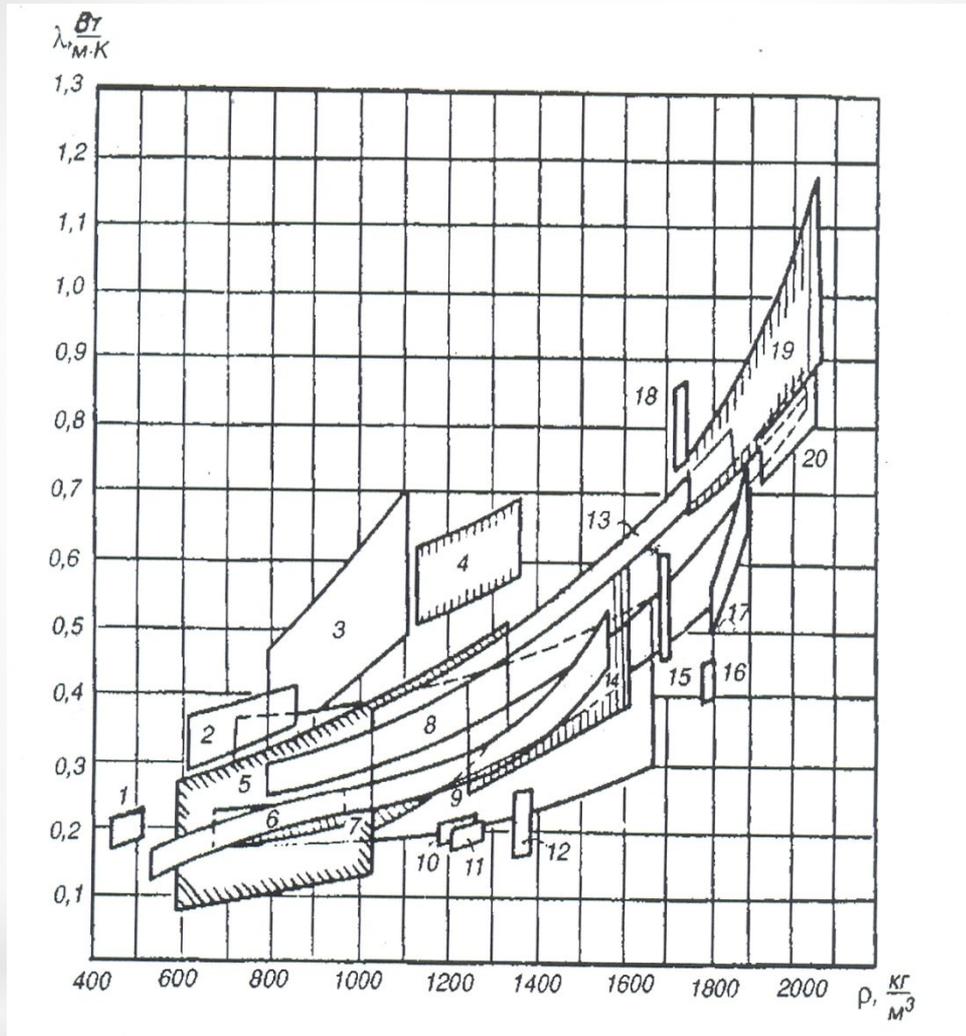


Рис. 6.6 Коэффициент теплопроводности строительных материалов в зависимости от плотности, данные:
 1-асботермит; 2-асбозурит; 3-аэродоломит; 4-известняк (параллельно слоям); 5-трепельный кирпич; 6-теплый раствор; 7-глиноторфяной кирпич; 8-глиногипс; 9-теплый бетон; 10-алебастровый кирпич; 11-асбестовая 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 λ_0 , β , λ'_0 и β' для некоторых теплоизоляционных материалов

Материал	λ_0 , Вт/(м*К)	β , К ⁻¹	λ'_0 , Вт/(м*К)	β' , 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 λ_0 и β соответствуют формуле $\lambda = \lambda_0(1+\beta T)$, а λ'_0 и β' – 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 λ_0 и β – постоянные, определяемые опытным путем.

Значения λ_0 и β для некоторых материалов приведены в таблице 1.2. Наибольшей теплопроводностью обладают металлы. Примеси существенно снижают λ .

*Смеси

Теплопроводность газовых смесей не подчиняются закону аддитивности. В этом случае λ 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;

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

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