

Таблица 1. Значения констант K и Δ в уравнении (5) для углеводородов

Углеводород	$d_M, \text{Å}$	K	Δ
C_2H_4	4,17	1,06	1,37
C_2H_6	4,44	0,39	2,80
C_3H_6	4,99	0,14	4,18
C_3H_8	5,12	0,034	9,30

Величины констант K и Δ в уравнении (5) обнаружили систематическое изменение с вариацией диаметра молекулы d_M газа-пенетранта, что следует из данных таблицы 1. Это систематическое изменение позволило выразить указанные константы с помощью следующих уравнений:

$$K = 0,39d_M^{-12,5}, \quad (6)$$

$$\Delta = 1,94 \times 10^{-4} d_M^{6,25}. \quad (7)$$

Как следует из уравнений (6) и (7), наблюдается очень сильная степенная зависимость K и Δ (и, следовательно, коэффициента диффузии) от величины d_M . Аналогичная сильная зависимость $D(d_M)$ получена и экспериментально: так, при переходе от He ($d_M=1,82 \text{ Å}$) к C_4H_{10} ($d_M=5,66 \text{ Å}$) величина D в случае ПВТМС уменьшается почти на 6 порядков.

Для проверки общности соотношений (5)-(7) был выполнен расчет D по ним для ПВТМС и 10 газопенетрантов, чья величина d_M изменялась в достаточно широком интервале ($d_M=1,82-5,66 \text{ Å}$). Сравнение полученных экспериментально и рассчитанных указанным методом коэффициентов диффузии для ПВТМС приведено в таблице 2. Как можно видеть, несмотря на существенную погрешность для некоторых газов (например, He), расчет дает корректный интервал изменения D при $T=293 \text{ K}$, а именно, на 6 порядков величины. В общем случае такая погрешность обусловлена самой степенной формой соотношений (5)-(7) и большими величинами показателей в них.

Таблица 2. Сравнение экспериментальных и рассчитанных по уравнению (5) коэффициентов диффузии D для ПВТМС

Газ	$d_M, \text{Å}$	$D, \text{cm}^2/\text{c}$	
		эксперимент	расчет по уравнению (5)
He	1,78	370	1660
Ne	2,30	95	139
O_2	2,89	7,6	7,2
CO_2	3,02	5,0	4,1
N_2	3,04	3,6	3,7
CH_4	3,18	1,8	2,1
Rn	3,77	0,08	0,23
C_2H_2	3,38	0,64	0,93
C_2H_4	3,85	0,80	0,17
C_4H_{10}	5,66	0,001	0,003

Таким образом, результаты настоящего сообщения показали, что величина коэффициента диффузии разных газов в поливинилтриметилсилане контролируется двумя факторами: уровнем молекулярной подвижности, характеризуемым фрактальной размерностью D_n , и размером молекул газа-пенетранта. Как и в случае ПЭВП (уравнение (1)), получена очень сильная степенная зависимость D от обоих указанных факторов, объясняющая очень большую вариацию D для ограниченного интервала изменения $D_n=1,046-1,590$ и $d_M=1,82-5,66 \text{ Å}$.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ ГАЗОВ ДЛЯ НЕПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН

Халиков Р.М., Козлов Г.В.
Башкирский государственный педагогический университет

Ранее были получены уравнения для расчета коэффициентов растворимости σ и диффузии D для не-

пористых полимерных мембран в рамках фрактальной модели процессов газопереноса:

$$\sigma = \sigma_0 (S_M^{\text{эф}})^{D_f/2} \left(\frac{\epsilon}{k} \right)_{\text{эф}}, \quad (1)$$

$$D = D_0 f_c \left(\frac{d_h}{d_M^{\text{эф}}} \right)^{2(D_n - d_s)/d_s}, \quad (2)$$

где σ_0 и D_0 - константы, $S_M^{\text{эф}}$ и $d_M^{\text{эф}}$ - эффективные площадь поперечного сечения и диаметр молекулы газа-пенетранта, соответственно, D_f - размерность областей локализации избыточной энергии, $(\epsilon/k)_{\text{эф}}$ - эффективная силовая постоянная потенциала Ленарда-Джонса, рассчитанная для взаимодействий газ-газ, f_c - относительный флуктуационный свободный объем полимера, d_h - диаметр микрополости этого объема, D_n - размерность структуры полимера, контролирующая процессы газопереноса, в качестве которой может выступить либо D_f , либо фрактальная размерность структуры полимера d_f , d_s - спектральная размерность структуры полимера.

Коэффициент газопроницаемости полимера P может быть выражен следующей простой формулой:

$$P = \sigma D, \quad (3)$$

а коэффициент селективности двух газов i и k α_{ik} на полимерной мембране определяется так:

$$\alpha_{ik} = \frac{P_i}{P_k}. \quad (4)$$

Сочетание уравнений (1)-(4) позволяет получить следующее общее соотношение для определения α_{ik} в рамках фрактальной модели:

$$\alpha_{ik} = \left(\frac{d_{M_i}^{\text{эф}}}{d_{M_k}^{\text{эф}}} \right)^{D_f} \frac{(\varepsilon/k)_{\text{эф}i} (d_h / d_{M_k}^{\text{эф}})^{2(D_n - d_s)/d_s}}{(\varepsilon/k)_{\text{эф}k} (d_h / d_{M_i}^{\text{эф}})^{2(D_n - d_s)/d_s}}, \quad (5)$$

где показатели в последнем множителе правой части уравнения (5) записаны в таком виде потому, что в общем случае для одной и той же полимерной мембраны величины D_n могут быть разными для различных газов i и k в зависимости от величины $d_M^{\text{эф}}$.

Цель настоящего сообщения – показать принципиальную применимость уравнения (5) для прогнозирования величины α_{ik} (селективности мембраны) на примере 4 полимеров и серии углеводородов C_1 - C_4 .

Использованы литературные данные для четырех полимеров: аморфно-кристаллического полиэтилена (ПЭ) со степенью кристалличности 0,57, стеклообразного аморфного поливинилтриметилсилана (ПВТМС) и сшитых каучуков полиизопрена (ПИ) и полидиметилсилоксана (ПДМС). Величины α_{ik} получены для них как отношение P_i/P_k , где в качестве P_k использована величина P для метана (CH_4), а в качестве P_i –

величины P для 11 остальных углеводородов C_1 - C_4 . Величины $d_M^{\text{эф}}$ и $(\varepsilon/k)_{\text{эф}}$ взяты из литературных источников. Значения d_f приняты равными: 2,77 для ПЭ, 2,83 для ПВТМС и 2,90 для ПИ и ПДМС. Величина d_s для линейных ПЭ и ПВТМС принята равной 1,0, а для сшитых ПИ и ПДМС – равной 1,33.

Ранее было показано, что процессы переноса углеводородов в рассматриваемых полимерах нужно исследовать в рамках мультифрактального формализма, т.е., размерность D_f не является постоянной, как в случае монофрактального представления, а зависит от масштаба измерения (в данном случае $d_M^{\text{эф}}$). Было получено следующее соотношение между D_f и $(\varepsilon/k)_{\text{эф}}$:

$$D_f = 1,33 + 0,0182 \left(\frac{\varepsilon}{k} \right)_{\text{эф}}. \quad (6)$$

Полученный таким образом спектр $D_f(d_M^{\text{эф}})$ был принят одинаковым для всех четырех полимеров, что, конечно же, является аппроксимацией. Далее, также для всех четырех полимеров было принято $D_n = d_f$.

В таблице 1 приведено сравнение величин коэффициента селективности углеводородов α_{ik} по метану, рассчитанных по уравнению (5) $\alpha_{ik}^{\text{теор}}$ и полученных из литературных источников $\alpha_{ik}^{\text{лит}}$. Как можно видеть, для всех четырех полимеров получено достаточно хорошее соответствие (среднее расхождение между $\alpha_{ik}^{\text{теор}}$ и $\alpha_{ik}^{\text{лит}}$ для 44 пар составляет 20 %).

Таблица 1. Размерности D_f , сравнение $\alpha_{ik}^{\text{теор}}$ и литературных $\alpha_{ik}^{\text{лит}}$ величин коэффициента селективности и их расхождение Δ для 11 углеводородов C_1 - C_4 на примере ПЭ, ПИ, ПДМС и ПВТМС.

Углеводород	D_f	ПЭ			ПИ			ПДМС			ПВТМС		
		$\alpha_{ik}^{\text{теор}}$	$\alpha_{ik}^{\text{лит}}$	$\Delta, \%$									
C_2H_6	5,88	2,6	2,4	7,7	3,5	2,9	17,1	3,3	3,9	16,5	2,8	3,0	6,7
C_3H_8	5,64	4,2	3,3	21,4	6,6	4,6	30,3	6,6	8,0	17,5	3,7	4,6	19,6
C_4H_{10}	6,12	9,4	9,6	1,7	15,2	14,4	5,3	17,9	24,8	27,8	12,9	14,4	10,4
C_2H_4	5,43	1,9	2,0	5,0	2,3	2,3	-	2,3	2,8	17,8	2,3	2,3	-
C_3H_6	6,68	5,5	4,8	12,7	8,2	6,0	26,8	8,2	8,6	4,6	6,2	6,0	3,3
C_4H_8 -1	6,24	8,5	8,5	-	15,1	12,3	18,0	11,5	21,3	46,0	15,1	12,3	18,0
C_2H_2	5,39	1,8	2,6	30,8	2,2	3,0	26,7	2,2	3,3	33,0	1,9	3,0	36,7
C_3H_4 (м)	7,17	7,2	12,2	41,0	10,8	16,0	32,5	10,8	19,8	45,5	8,2	16,0	48,8
C_4H_6 (э)	7,88	17,4	18,5	6,0	29,9	25,6	14,4	30,0	35,5	15,4	14,6	30,0	51,3
C_3H_4 (а)	7,45	14,6	18,1	19,3	25,9	23,7	8,5	26,0	28,2	7,8	21,2	23,7	10,5
C_4H_6 (б)	7,28	13,8	11,5	16,5	24,9	15,8	36,5	25,0	19,8	20,8	25,0	15,2	39,2

Этот результат позволяет сделать следующие выводы.

1) Предложенная фрактальная модель процессов газопереноса для непористых полимерных мембран является перспективной для компьютерного прогнозирования и моделирования указанных процессов.

2) Очевидно, что для повышения точности результатов модели существует несколько способов, изложенных в последующих пунктах.

3) Как следует из данных таблицы 1, спектры $D_f(d_M^{\text{эф}})$ близки, но не одинаковы для рассматриваемых полимеров, что видно по разной погрешности для одного и того же газа, но разных полимеров. Та-

ким образом, требуется точная идентификация спектра $D(\lambda d_M^{\lambda\phi})$ для каждого полимера.

4) Имеющиеся в литературе величины (ϵ/k) и d_M могут иметь достаточно широкий разброс (для одного и того же газа они могут различаться в 1,5-2,0 раза). Поэтому важно иметь более точные методы оценки эффективных величин этих параметров.

5) Указанная точность необходима, поскольку характерной особенностью всех скейлинговых и фрактальных соотношений является степенная зави-

симость, существенно повышающая погрешность расчета.

6) Степень связности структуры полимера, характеризующая величиной d_s , существенно влияет на величину α_{ik} . Так, увеличение d_s от 1,0 для линейных полимеров до 1,33 для шитых при прочих равных условиях увеличивает α_{ik} в среднем в 1,5 раза. Поэтому следует использовать точную величину этой размерности.

Проблемы передачи и обработки информации

ПОДХОД К СИСТЕМНОМУ АНАЛИЗУ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Бочкарева Ю.Г., Смогунов В.В.,
Фунтиков В.А., Чижухин Г.Н.

Рассмотрим общую постановку вопроса системного анализа информационной безопасности АСОИ (автоматизированной системы обработки информации). Для такого анализа необходимо представить некоторую систему [1] информационной безопасности (СИБ), состоящую из компонентов, каждый из которых есть множество относительно однородных элементов, объединенных функциями для обеспечения выполнения общих целей функционирования СИБ. При этом понятие системы здесь не сводится к сумме компонентов, которые при объединении в систему выступают и, соответственно, воспринимаются как единое целое. Для СИБ имеют место следующие компоненты:

- стратегии (способы) защиты информации,
- стратегии (методы) прогнозирования нападения на рассматриваемый объект,
- механизмы принятия решения, использующие результаты обеих стратегий и представляющие собой политику безопасности (набор норм, правил и практических приемов, регулирующих управление и распределение ценной информации [2]).

Элементы СИБ – условно неделимая, самостоятельно функционирующая часть системы и, например, для первой компоненты это будут (как показано ниже) четыре стратегии защиты. Все компоненты объединяются общей функциональной средой.

Функциональная среда СИБ есть характерная для нее совокупность законов, алгоритмов и параметров, по которым осуществляется взаимодействие (обмен, взаимоотношение) между компонентами системы, а также функционирование (стабильность или деградация) системы в целом.

И, наконец, структура СИБ подразумевает совокупность связей, по которым обеспечивается информационный обмен между компонентами системы, определяющий функционирование ее в целом и способы взаимодействия ее с внешней средой.

Рассмотрим, для примера, подробней компоненты и элементы СИБ, из которых они состоят. Например, организация защиты информации [3] в самом общем виде может быть сформулирована как задача

поиска оптимального компромисса между потребностями в защите и необходимыми ресурсами для этих целей. Потребности обусловлены важностью и объемами защищаемой информации, условиями ее хранения, обработки и использования. Ресурсы могут быть ограничены заданным пределом либо определяются условием обязательного достижения требуемого уровня защиты. В первом случае защита организуется так, чтобы при выделенных ресурсах обеспечивался максимальный уровень защиты, а во втором – уровень защиты обеспечивает минимальное расходование ресурсов.

Нетрудно видеть, что сформулированные случаи есть не что иное, как прямая и обратная постановки оптимизационных задач. Они достаточно детально изучены с помощью методов современной теории систем, информатики и прикладной математики. Однако имеющиеся неопределенные ситуации, а также, прежде всего, в данном случае невозможность получения функциональных зависимостей между объемом затрачиваемых ресурсов и достигаемым уровнем защиты не позволяют строго решить эти задачи подобными известными методами. Поэтому в целях создания условий для ориентации в этих неопределенных ситуациях и вводится понятие стратегии защиты. Под ней понимается системный взгляд на сложившуюся ситуацию, который распространяется и на системный подход к принятию наиболее рационального решения в этой ситуации. Количество таких стратегий должно быть небольшим (чтобы просто было бы ориентироваться в самих стратегиях), но в то же время должно полно и достаточно адекватно отображать всю гамму потенциально возможных ситуаций.

В этом смысле хороший урок преподает природа, которая имеет всего четыре стратегии защиты: 1) оборонительная или пассивная защита (надевание «брони»), например, черепаха – на себя или охранная территория – на окружающую среду; 2) наступательная или активная защита, выражающаяся в нападении и уничтожении нападающего (в том числе и с помощью вирусов); 3) пространственно-временная или защита с помощью изменения месторасположения в пространстве (например, бегство в пространстве от нападающего или перемещение в другую область адресного пространства ЗУ) или во времени (размножение – создание собственных копий); 4) содержательная или защита с помощью внесения изменений