

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПОГЛОЩАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ГАЗООБРАЗНОГО ПРОПИЛЕНА

Д.В. КОСЕНКОВ, В.В. САГАДЕЕВ, В.А. АЛЯЕВ

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований функции спектрального пропускания пропилена при повышенных давлениях и температурах.

Ключевые слова: пропилен, коэффициент поглощения, температура, давление.

Рациональное использование энергоресурсов в работе современных промышленных аппаратов возможно в случаях точных расчетов процессов переноса тепла [1, 2].

При наличии радиационного и радиационно-кондуктивного теплообмена точность расчетов во многом будет определяться надежностью радиационных характеристик сред, в первую очередь – спектральных коэффициентов поглощения.

Информация по спектрам пропускания углеводородов при атмосферном давлении и комнатной температуре в литературе представлена широко. Данные при повышенных параметрах состояния имеются в ограниченном количестве, что затрудняет их использование для расчета радиационных свойств углеводородов при повышенных давлениях и температурах.

Разработана экспериментальная установка для измерения коэффициента поглощения в жидких и газообразных средах в инфракрасной области при различных термодинамических параметрах состояния [3]. Экспериментальная установка позволяет измерять функции спектрального пропускания газов и жидкостей при давлениях $0,1\div 10$ МПа и температурах до 500 К, спектральный диапазон – $4000\ldots 400\text{ см}^{-1}$.

Учитывая все недостатки измерительных кювет предыдущих авторов [4, 5], была специально спроектирована кювета.

Объектом исследования является пропилен естественного изотопного состава. Наличие углеводородных примесей отвечает требованиям ГОСТ 25043–2013.

Инфракрасные спектры пропускания пропилена в газовой фазе при повышенных температуре и давлении в литературе отсутствуют.

Спектры пропускания газообразного пропилена измерены нами в интервалах давлений $0,1\text{--}7$ МПа и температур $303\text{--}374$ К при толщине слоя $0,015$ м с разрешением 2 см^{-1} .

Результаты измерений показывают, что давление и температура оказывают сильное влияние на оптические свойства газообразного пропилена.

В спектрах пропускания с ростом давления растет поглощение в центре и крыльях полос, при достижении полного поглощения в центре полосы продолжается рост поглощения в крыльях, полоса становится шире (рис. 1).

Повышение температуры приводит к уширению полос поглощения в спектре газообразного пропилена (рис. 2) и снижению интенсивности в центре полосы [6].

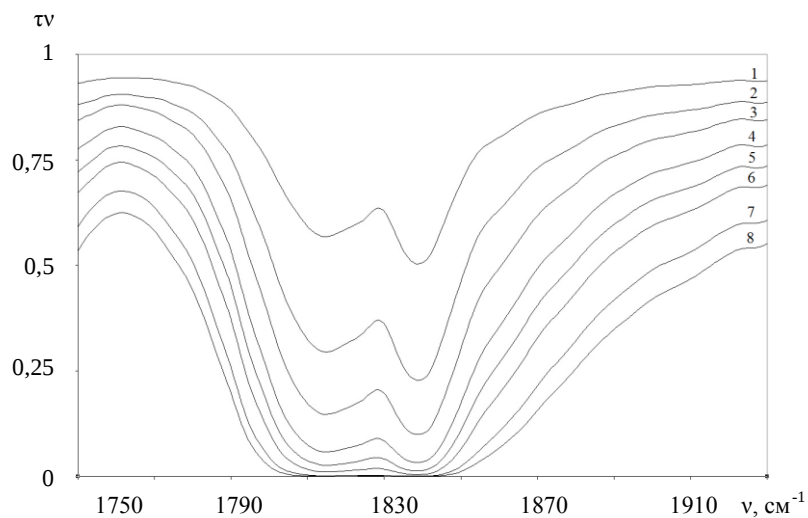


Рис. 1. Функции спектрального пропускания полосы пропилена при температуре 317 К, оптическом пути $L=1,5$ см и различных давлениях P :

Кривая	1	2	3	4	5	6	7	8
P , атм	1	3	5	8	10	12	15	17

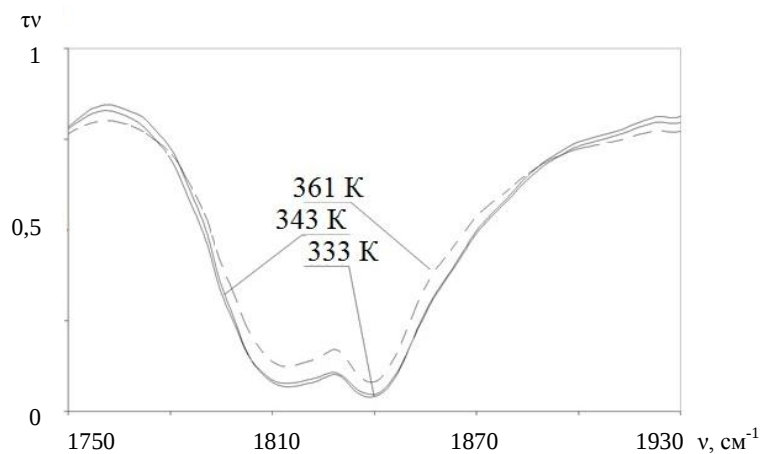


Рис. 2. Функции спектрального пропускания полосы пропилена при давлении 1 Мпа, оптическом пути $L=1,5$ см и различных температурах

Спектральные коэффициенты поглощения пропилена рассчитаны по закону Бугера-Ламберта-Бера при заданных параметрах состояния:

$$k_v = -\frac{\ln \tau_v}{L}, \quad (1)$$

где L – толщина слоя исследуемого газа.

Использование моделей полос [7, 8] не представляется возможным, так как они разработаны для области идеального газового состояния и не отражают свойства реальных газов.

Изотермы спектральных коэффициентов поглощения пропилена при давлениях до 0,6 МПа практически совпадают (рис.3).

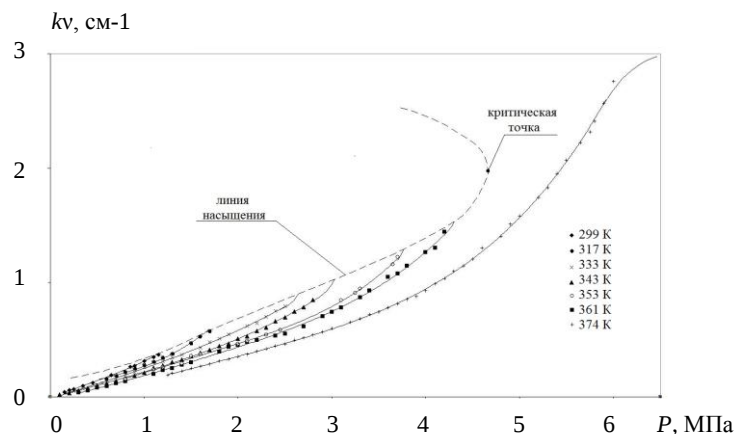


Рис.3. Зависимость спектрального коэффициента поглощения пропилена от давления (газовая фаза, $\nu=3200 \text{ см}^{-1}$)

Это монотонно растущие кривые. Соответствуют они идеально-газовому состоянию. С ростом давления, по мере приближения к фазовому переходу, характер кривизны изотермы изменяется – они загибаются вверх. При фазовом переходе газ–жидкость k_v должен увеличиваться скачком. Закритическая изотерма вблизи критического давления плавно огибает ее. На ней k_v также достаточно сильно увеличивается.

Опытные данные при атмосферном давлении показывают, что интегральный коэффициент поглощения этилена при малых оптических толщинах слабо зависит от температуры газа [5]. Наши измерения для пропилена аналогичны (рис. 4). При приближении к пограничной кривой линии отклоняются вверх.

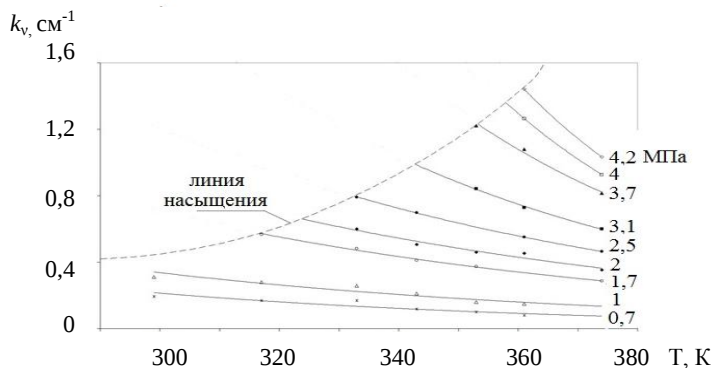


Рис. 4. Зависимость спектрального коэффициента поглощения пропилена от температуры (газовая фаза, $\nu=3200 \text{ см}^{-1}$)

Анализ зависимостей спектральных коэффициентов поглощения пропилена от давления и температуры в газовой фазе показал, что при низких давлениях в области идеального газа увеличение поглощения связано с изменением полуширин спектральных линий. При повышении давления на спектральные коэффициенты поглощения начинают оказывать влияние межмолекулярные взаимодействия [9], что приводит к усилению имеющихся и возникновению новых полос поглощения, неразрешенных в инфракрасной области при нормальных параметрах состояния.

Изменяется профиль полосы. Увеличению спектральных коэффициентов поглощения способствует ассоциация молекул.

В таблице представлены спектральные коэффициенты поглощения полосы пропилена при температуре 361 К и различных давлениях с шагом 10 см⁻¹, рассчитанные по уравнению

$$K_v = -\frac{\ln \tau_v}{PL}, \quad (2)$$

где P – давление исследуемого газа в кювете.

Таблица

ν , см ⁻¹	K_v , атм ⁻¹ см ⁻¹	ν , см ⁻¹	K_v , атм ⁻¹ см ⁻¹	ν , см ⁻¹	K_v , атм ⁻¹ см ⁻¹	ν , см ⁻¹	K_v , атм ⁻¹ см ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8
$P=0,3$ МПа							
1575	0,061	1495	0,214	1415	0,220	1335	0,029
1565	0,058	1485	0,296	1405	0,219	1325	0,030
1555	0,065	1475	0,393	1395	0,148	1315	0,024
1545	0,069	1465	0,353	1385	0,121	1305	0,021
1535	0,072	1455	0,326	1375	0,090	1295	0,021
1525	0,086	1445	0,519	1365	0,063	1285	0,018
1515	0,113	1435	0,344	1355	0,038	1275	0,015
1505	0,160	1425	0,258	1345	0,031	1265	0,014
$P=0,5$ МПа							
1575	0,073	1495	0,266	1415	0,276	1335	0,039
1565	0,076	1485	0,373	1405	0,274	1325	0,037
1555	0,081	1475	0,530	1395	0,277	1315	0,038
1545	0,085	1465	0,453	1385	0,186	1305	0,031
1535	0,090	1455	0,415	1375	0,151	1295	0,027
1525	0,106	1445	1,086	1365	0,112	1285	0,027
1515	0,140	1435	0,432	1355	0,078	1275	0,020
1505	0,198	1425	0,325	1345	0,048	1265	0,019
$P=0,7$ МПа							
1575	0,079	1495	0,282	1415	0,295	1335	0,041
1565	0,077	1485	0,408	1405	0,291	1325	0,039
1555	0,086	1475	1,096	1395	0,293	1315	0,040
1545	0,090	1465	0,559	1385	0,197	1305	0,032
1535	0,095	1455	0,493	1375	0,159	1295	0,029
1525	0,112	1445	1,096	1365	0,118	1285	0,028
1515	0,148	1435	0,637	1355	0,082	1275	0,024
1505	0,209	1425	0,349	1345	0,051	1265	0,020

Общий характер изменения спектрального коэффициента поглощения пропилена при высоких давлениях аналогичен с зависимостью от давления теплофизических свойств – плотности, вязкости, теплопроводности и т.д. Объясняется это тем, что одни и те же межмолекулярные взаимодействия ответственны за изменение этих свойств.

Располагая данными по оптическим свойствам любого органического вещества при повышенных параметрах состояния, можно рассчитать радиационную составляющую коэффициента теплопроводности, вклад которой достигает порядка 10 % [10].

Summary

Discusses the results of experimental studies of the function of the spectral transmittance of propylene at high pressures and temperatures.

Keywords: propylene, coefficient absorption, temperature, pressure.

Литература

1. Аляев В.А. Радиационно-кондуктивный теплообмен в плоских слоях органических жидкостей при повышенных температурах: дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Аляев. Казань : Казан. гос. технол. ун-т, 2004. 311 с.
2. Сагадеев В.В. Тепловое излучение жидких металлов и сплавов / В.В. Сагадеев. Казань.: Изд-во КГТУ, 2008. 294 с.
3. Пальцев А.В. Экспериментальная установка для измерения ИК-спектров поглощения в околокритической области / А.В. Пальцев, Д.В. Косенков, К.Б. Панфилович // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, № 8. С.260-261.
4. Бударин А.П. Оптические характеристики и радиационно-кондуктивный перенос тепла в плоском слое жидких н-бутана и н-гексана при давлениях до 10 МПа / В.А. Аляев, А.П. Бударин, П.И. Бударин, К.Б. Панфилович // Вестник Казан. гос. технол. ун-та. 2003. №2. С. 172-184.
5. Бударин П.И. Интегральные коэффициенты поглощения CO_2 и C_2H_4 (область фазового перехода и закритическое состояние): дис. ... канд. техн. наук / П.И. Бударин. Казан. хим.-технол. ин-т. Казань, 1984. 140 с.
6. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия / А. Смит: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 328 с.
7. Edwards D.K., and Menard W. Comparison of models for correlation of total Band absorbtion. Appl Optics 3, 1964, p 621-625.
8. Тьен К.Л. Радиационные свойства газов / К.Л. Тьен. М.: Мир, 1971. С.280-360.
9. Пеннер С.С. Количественная молекулярная спектроскопия и излучательная способность газов / С.С. Пеннер. М, 1963. 492 с.
10. Аляев В.А., Панфилович К.Б. Радиационно-кондуктивный теплообмен в полупрозрачных органических жидкостях. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2003. 195 с.

Поступила в редакцию

13 апреля 2016 г.

Косенков Дмитрий Валерьевич – ассистент кафедры ВТЭУ Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). Тел.: 8(843) 231-43-74, 8-905-376-54-06. E-mail: dmi-kosenkov@yandex.ru.

Сагадеев Владимир Владимирович – доцент кафедры ВТЭУ Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). Тел.: 8-950-320-86-34. E-mail: v.sagadeev@mail.ru.

Аляев Валерий Алексеевич – профессор кафедры ВТЭУ Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). Тел.: 8(843) 231-42-37. E-mail: alyayev@kstu.ru.