



А.Н. КОРОЛЬ

Неподвижные  
фазы  
в газожидкостной  
хроматографии



Москва  
«Химия»  
1985

**Король А. Н.**

Неподвижные фазы в газожидкостной хроматографии: Справочник. — М.: Химия, 1985. — 240 с.

В книге рассмотрены основные свойства более чем 300 широко используемых в практике газожидкостной хроматографии неподвижных фаз и рекомендованы стандартные неподвижные фазы для аналитических целей. Справочный материал сгруппирован по свойствам неподвижных фаз, что дает возможность легко выбрать доступные материалы взамен редких, оценивать избирательность, стандартизировать методики. Приведены таблицы наиболее воспроизводимых величин удерживания на неподвижных фазах.

Книга предназначена для работников химической, нефтехимической и других отраслей промышленности, а также для студентов, аспирантов и преподавателей химико-технологических вузов.

240 с., 49 табл., 7 рис., 61 литературная ссылка.

Рецензент — докт. хим. наук, профессор В. Г. БЕРЕЗКИН

К  $\frac{1804000000-014}{050(01)-85}$  14.85

© Издательство «Химия», 1985 г.

Редактор В. Л. Абрамова  
Художественный редактор  
Н. В. Носов  
Технический редактор  
В. М. Скитина  
Корректор М. В. Черниковская

ИБ № 1748

Сдано в наб. 17.01.85. Подп. в печ. 26.03.85.  
Т-07372. Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага кн.-журнальная. Гарнитура  
литературная. Печать высокая.  
Усл. печ. л. 15,0. Уч.-изд. л. 20,96.  
Усл. кр.-отг. 15,0. Тираж 5900 экз.  
Зак. № 811. Цена 1 р. 40 к. Изд. № 2770.

Ордена «Знак Почета» издательство  
«Химия». 107076. Москва,  
Стромынка, д. 21/2.

Московская типография № 11  
Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии  
и книжной торговли.  
Москва, 113105, Нагатинская ул., д. 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	6
Список обозначений . . . . .	10

<b>Часть I. Основные характеристики неподвижных фаз и методики их измерения . . . . .</b>	<b>11</b>
---	-----------

ГЛАВА 1. ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ НЕПОДВИЖНЫХ ФАЗ . . . . .	11
ГЛАВА 2. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРЕДЕЛЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕПОДВИЖНОЙ ФАЗЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОЛОНКИ . . . . .	26
ГЛАВА 3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК УДЕРЖИВАНИЯ . . . . .	34
Распределение неподвижной фазы на твердом носителе и стенках капиллярной колонки . . . . .	34
Сорбционные процессы в хроматографической колонке . . . . .	36
Условия эксперимента для получения воспроизводимых величин удерживания . . . . .	53
Методика измерения показателей избирательности неподвижной фазы . . . . .	58

<b>Часть II. Свойства наиболее распространенных неподвижных фаз . . . . .</b>	<b>67</b>
---	-----------

ГЛАВА 1. НЕПОЛЯРНЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ . . . . .	67
ГЛАВА 2. СИЛИКОНОВЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ . . . . .	80
ГЛАВА 3. ПОЛЯРНЫЕ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ . . . . .	115
ГЛАВА 4. СМЕШАННЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ . . . . .	162

<b>Часть III. Характеристики удерживания органических соединений различных классов . . . . .</b>	<b>170</b>
--	------------

ТАБЛИЦА III.1. АМИНЫ И АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ . . . . .	170
А. 2,6-Динитро-4-трифторметил, О-триметилсилильные производные аминов. Относительное удерживание при 100 °С . . . . .	170
Б. Вторичные изоалифатические и алициклические амины. Индексы Ковача при 100 °С . . . . .	170
В. Изоалифатические амины и гетероциклические азотсодержащие основания. Индексы Ковача при 100 °С . . . . .	171
Г. Вторичные амины. Индексы Ковача при 100 °С . . . . .	172
Д. <i>n</i> -Алифатические и непредельные третичные амины. Индексы Ковача при 100 °С . . . . .	172
Е. Алкилпиридины. Относительное удерживание при 120 °С . . . . .	173
Ж. Пиридин и его производные. Индексы Ковача . . . . .	174
З. Алкилпиридины. Индексы Ковача . . . . .	175
И. Производные пиперидина. Относительное удерживание . . . . .	177

ТАБЛИЦА III.2. КЕТОНЫ. ИНДЕКСЫ КОВАЧА ПРИ 150 °С . . . . .	177
ТАБЛИЦА III.3. НИТРИЛЫ И НИТРОСОЕДИНЕНИЯ . . . . .	177
А. Изомерные диметилнитробензолы. Относительное удерживание . . . . .	177
Б. Нитропарафины. Индексы Ковача . . . . .	178
В. Акрилонитрилы. Индексы Ковача на силиконе ДС-550 . . . . .	178
ТАБЛИЦА III.4. СЕРООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ . . . . .	179
А. Меркаптаны и сульфиды. Относительное удерживание . . . . .	179
Б. Сульфиды. Относительное удерживание . . . . .	180
В. Сульфиды. Индексы Ковача при 130 °С . . . . .	182
ТАБЛИЦА III.5. СПИРТЫ АЛИФАТИЧЕСКИЕ . . . . .	183
А. Удельные объемы удерживания на полиэтиленгликолях при 100 °С . . . . .	183
Б. Относительное удерживание при 120 °С . . . . .	184
В. Спирты и их бензойные эфиры. Индексы Ковача . . . . .	185
ТАБЛИЦА III.6. УГЛЕВОДОРОДЫ ПАРАФИНОВЫЕ, АЦИКЛИЧЕСКИЕ . . . . .	189
А. Изопарафины C <sub>5</sub> —C <sub>9</sub> . Индексы Ковача на <i>n</i> -гексатриаконтане . . . . .	189
Б. Изопарафины C <sub>5</sub> —C <sub>11</sub> . Индексы Ковача на динилфталате . . . . .	189
В. Изопарафины C <sub>5</sub> —C <sub>9</sub> . Индексы Ковача на метилсиликонах . . . . .	191
Г. Изопарафины по C <sub>8</sub> . Характеристики удерживания на сквалане . . . . .	192
Д. Изопарафины C <sub>9</sub> , C <sub>10</sub> . Относительные термодинамические характеристики избирательности и индексы Ковача на сквалане . . . . .	193
Е. Изопарафины C <sub>5</sub> —C <sub>10</sub> . Индексы Ковача на сквалане . . . . .	194
Ж. Изопарафины C <sub>8</sub> —C <sub>13</sub> . Индексы Ковача на сквалане . . . . .	197
З. Изопарафины C <sub>6</sub> —C <sub>8</sub> . Индексы Ковача на углеводородных неподвижных фазах . . . . .	199
И. Изопарафины изопреноидного типа. Индексы Ковача при 200 °С . . . . .	199
ТАБЛИЦА III.7. УГЛЕВОДОРОДЫ ОЛЕФИНОВЫЕ, АЦИКЛИЧЕСКИЕ . . . . .	200
А. Олефины C <sub>5</sub> —C <sub>15</sub> . Индексы Ковача на апнезоне L . . . . .	200
Б. Олефины C <sub>5</sub> —C <sub>20</sub> . Индексы Ковача на <i>m</i> -бис(феноксифенокси)-бензоле, 5 колец . . . . .	201
В. Олефины C <sub>6</sub> —C <sub>14</sub> . Индексы Ковача на <i>m</i> -бис(феноксифенокси)-бензоле, 5 колец . . . . .	202
Г. Олефины C <sub>7</sub> —C <sub>10</sub> . Индексы Ковача на дибутилтетрахлорфталате . . . . .	204
Д. Олефины C <sub>5</sub> —C <sub>7</sub> . Индексы Ковача на дидецилфталате . . . . .	206
Е. Олефины C <sub>5</sub> —C <sub>7</sub> . Индексы Ковача на силиконе SF-96 . . . . .	207
Ж. Олефины C <sub>3</sub> —C <sub>8</sub> . Относительные характеристики удерживания на сквалане при 50 °С . . . . .	207
З. Олефины C <sub>8</sub> , C <sub>9</sub> . Относительные молярные теплоты растворения и индексы Ковача на сквалане . . . . .	208
И. Пространственные изомеры олефинов. Относительные молярные теплоты растворения и разность индексов Ковача на сквалане . . . . .	209
К. Олефины C <sub>5</sub> —C <sub>8</sub> . Индексы Ковача на сквалане . . . . .	210

Л. Октены. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	214
М. Октены. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	215
Н. Олсины C <sub>9</sub> —C <sub>14</sub> . Индексы Ковача на сквалане . . . . .	215
О. Пентадецены и гексадецены. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	217

ТАБЛИЦА III.8. УГЛЕВОДОРОДЫ ДИЕНОВЫЕ . . . . .	218
--	-----

А. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	218
Б. Индексы Ковача и значения $dI/dT$ . . . . .	219

ТАБЛИЦА III.9. <i>n</i> -АЛКИНЫ. ИНДЕКСЫ КОВАЧА . . . . .	220
---	-----

ТАБЛИЦА III.10. УГЛЕВОДОРОДЫ ЦИКЛИЧЕСКИЕ НЕАРОМАТИЧЕСКИЕ . . . . .	222
--	-----

А. Цикланы C <sub>5</sub> —C <sub>10</sub> . Индексы Ковача на апнезоне L . . . . .	222
Б. Циклопентан, циклогексан и их производные. Индексы Ковача . . . . .	223
В. Циклопропан и его производные. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	224
Г. Циклопентан и его производные. Индексы Ковача . . . . .	229
Д. Производные циклопентана. Индексы Ковача и значения $dI/dT$ на сквалане . . . . .	233
Е. Производные циклогексана. Относительное удерживание на сквалане при 120 °С . . . . .	233
Ж. Производные циклогексана. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	234
З. Цикланы C <sub>7</sub> —C <sub>14</sub> . Индексы Ковача на сквалане . . . . .	236
И. Циклоолефины. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	236
К. Циклодиеновые углеводороды. Индексы Ковача на сквалане . . . . .	238

ТАБЛИЦЫ III.11. УГЛЕВОДОРОДЫ АРОМАТИЧЕСКИЕ . . . . .	238
--	-----

А. Бензол и его производные. Удельные объемы удерживания на эфирах фталевой кислоты . . . . .	238
Б. Бензол и его производные. Удельные объемы удерживания на эфирах ароматических кислот . . . . .	239
В. Алкилбензолы. Относительное удерживание . . . . .	239

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Газожидкостная хроматография (ГЖХ) за сравнительно небольшой промежуток времени стала одним из наиболее популярных методов анализа смесей летучих соединений, в особенности — органических. Основная причина успеха — использование жидкости в качестве активного разделяющего агента (неподвижная фаза). Линейная изотерма сорбции в жидкости обеспечивает высокое качество разделения, а большой выбор неподвижных фаз — универсальность метода и необходимую гибкость.

Свойства неподвижных фаз могут быть, в основном, охарактеризованы тремя параметрами: избирательностью, термостабильностью в условиях работы хроматографической колонки и возможностью создания высокоэффективных колонок. Избирательность неподвижной фазы оценивается возможностью разделения двух выбранных веществ (сорбатов) и количественно описывается относительным удерживанием этих соединений: неподвижная фаза считается избирательной, если относительное удерживание больше или меньше единицы. Если в разделяемой смеси содержится более двух компонентов, то избирательность неподвижной фазы характеризуется наименьшим значением относительного удерживания для пары компонентов этой смеси. Термостабильность неподвижной фазы характеризуется двумя факторами: уносом неподвижной фазы из колонки (вследствие разложения или испарения) и помехами на хроматограмме, вызванными фоном паров неподвижной фазы (продуктов ее разложения). И, наконец, возможность создания высокоэффективной колонки зависит прежде всего от размывания хроматографической зоны; определенную роль в этом играет смачиваемость твердого носителя (стенок капиллярной колонки) неподвижной фазой.

Поскольку в первые годы развития ГЖХ одним из основных критериев выбора неподвижных фаз послужила их термостабильность, в литературе появились сообщения об использовании сотен жидкостей, обладающих достаточно высокой термостабильностью. Однако при тщательном анализе всех предложенных неподвижных фаз оказалось, что многие из них обладают сходными свойствами. В связи с этим в последние 10—15 лет оживленно дискутируется вопрос о рекомендации

стандартных неподвижных фаз, при использовании которых можно решать большую часть аналитических задач. По мнению большинства специалистов для этого достаточно 6—15 соединений, обладающих определенными доминантными характеристиками. С 1964 г. предпринимались попытки создания наборов стандартных неподвижных фаз, но, к сожалению, без должного теоретического обоснования. И только в конце шестидесятих годов был сформулирован один необходимый признак для стандартной неподвижной фазы: это соединение должно представлять собой синтезированное однородное с воспроизводимыми свойствами вещество. Тем самым к основным критериям выбора неподвижной фазы был добавлен еще один, связанный прежде всего с возможностью получения воспроизводимых величин удерживания.

Хотя большая часть хроматографистов убеждена в необходимости применять в аналитической практике, в основном, стандартные неподвижные фазы, остаются разногласия в вопросе выбора таких стандартных соединений. Вместе с тем, за прошедшие 30 лет использования ГЖХ накоплено множество характеристик неподвижных фаз, большая часть которых не может быть принята как стандартные. При определенной экстраполяции или интерполяции эти данные могут быть использованы и для оценки избирательности потенциальных стандартных неподвижных фаз. Такие приближения вряд ли будут иметь большую ценность при разделении соединений с близкими свойствами, например малополярных или неполярных изомеров, однако они несомненно окажутся полезными как оценочные характеристики для некоторых изомеров и представителей различных классов органических соединений. Поэтому при составлении справочника ставились две цели: исчерпывающее описание свойств всех упоминаемых в литературе неподвижных фаз и ориентировка читателя на преимущественное использование потенциальных стандартных неподвижных фаз. Поскольку избирательность неподвижной фазы — наиболее сложный параметр, определяющий ее аналитическое применение, основное внимание в справочнике уделено именно этой характеристике, причем не только по двум наиболее распространенным системам классификации (по Роршнайдеру и Мак-Рейнольдсу), но и по относительному удерживанию и индексам Ковача многих представителей отдельных классов органических соединений. Таким образом, материал справочника не только дает сведения об из-

бирательности отдельных неподвижных фаз, но и их непосредственную оценку пригодности для разделения смесей соединений, интересующих читателя.

Поскольку неподвижная жидкая фаза наносится на поверхность твердого носителя (стенки капиллярной колонки), хроматографический процесс зависит не только от распределения газ — жидкость, но и от других сорбционных процессов, в частности — от адсорбции на поверхностях раздела газ — жидкость и жидкость — твердое тело. Поэтому в первой части справочника приведены основные принципы учета всех сорбционных процессов в газохроматографической колонке, рекомендации для создания колонок с воспроизводимыми характеристиками избирательности и эффективности. Этот же материал поможет читателю критически оценивать опубликованные величины удерживания, воспроизводить их в лаборатории.

В справочник включены далеко не все опубликованные характеристики неподвижных фаз, автор отобрал только те величины, которые казались наиболее надежными с точки зрения воспроизводимости и условий проведения эксперимента. Это, несомненно, включает некоторый элемент произвола. Некоторые классы веществ, например неорганические, металлоорганические и биологически активные соединения не включены в справочник.

Автор стремился избежать рекомендаций типа «для каких смесей целесообразно использовать те или иные неподвижные фазы». Автор считает, что читатель может получить ответ на этот вопрос, анализируя таблицы с данными по удерживанию разнообразных соединений, помещенные в справочнике.

Названия сорбатов приводятся, в основном, по оригинальным источникам, лишь в самых необходимых случаях они изменены в соответствии с рациональной номенклатурой. В указателе автор старался использовать, в основном, рациональную номенклатуру.

Химические классы сорбатов расположены в алфавитном порядке: амины и азотсодержащие соединения, альдегиды и кетоны, галогенпроизводные (бром- и иод-), сероорганические соединения, спирты, углеводороды. Последнее место занимают соединения со смешанными функциями. Для облегчения поиска характеристик удерживания сорбатов в конце справочника приведен указатель сорбатов в соответствии с размещением их в таблицах. Указатель построен по принципу химических клас-

сов органических соединений, классы находятся в алфавитном порядке, указанном выше. Внутри классов сорбаты располагаются в соответствии с увеличением числа атомов углерода в молекуле, причем сначала приведены соединения с нормальной структурой молекулы, затем — с разветвленной (*n*-, *изо*-, *втор*-, *трет*- и т. д.). Расположение изомерных соединений диктуется порядковыми номерами заместителей. В некоторых таблицах сорбаты расположены в порядке гомологических рядов внутри данного класса соединений: *n* алканы, 2-метилалканы, 3-метилалканы и т. п.

Номенклатура органических соединений приводится в соответствии с рекомендациями, данными в книге Р. Кана и О. Дермера «Введение в химическую номенклатуру», М., Химия, 1983 г. В соответствии с этими рекомендациями для сорбатов, молекулы которых содержат до 5 атомов углерода, применяют тривиальные названия, для более высокомолекулярных соединений — рациональные.

Учитывая, что справочник подобного типа выходит впервые, автор отдает себе отчет в неизбежности ошибок, в определенной непредставительности материала и т. п.; поэтому автор будет благодарен всем, кто представит замечания по представлению и объему материала справочника и, в особенности, тем хроматографистам, которые пришлют новые экспериментальные данные по свойствам неподвижных фаз. Автор благодарит своих сотрудников за помощь при составлении справочника; автор искренне признателен ныне покойному Ю. Н. Богословскому за его ценные указания по составлению справочника.

- $A^*$  — характеристика криволинейности изотермы сорбции  
 $c_{ж}$  — коэффициент сопротивления массопередаче в жидкости  
 $d_i$  — эффективная толщина пленки неподвижной фазы на поверхности твердого носителя  
 $D_i$  — эффективный коэффициент диффузии сорбата в неподвижной фазе  
 $D_{i, \Sigma}$  — суммарная характеристика полярности неподвижной фазы  
 $F^0$  — энтропийная избирательность неподвижной фазы  
 $\Delta G_s$  — свободная молярная энергия растворения  
 $\Delta G_s^0$  — относительная молярная свободная энергия растворения  
 $H$  — высота, эквивалентная теоретической тарелке  
 $\Delta H_h$  — молярная теплота образования дырки, кДж/моль  
 $\Delta H_s$  — молярная теплота растворения, кДж/моль  
 $\Delta H_s^0$  — относительная молярная теплота растворения, кДж/моль  
 $\Delta H_{sl}$  — энергия межмолекулярного взаимодействия в растворе  
 $\Delta H_v$  — молярная теплота испарения, кДж/моль  
 $I$  — индекс Ковача  
 $K$  — коэффициент распределения  
 $K'$  — константа Генри  
 $K^0$  — относительный коэффициент распределения  
 $k$  — коэффициент пропорциональности  
 $\bar{k}$  — коэффициент емкости колонки  
 $L$  — длина колонки  
 $N$  — число теоретических тарелок  
 $N_i$  — количество молей неподвижной фазы в единице объема  
 $n$  — количество молей  
 $p^0$  — давление пара чистого сорбата  
 $\bar{r}$  — расстояние между частицами  
 $r$  — относительное удерживание  
 $S$  — площадь поверхности раздела фаз  
 $\Delta S_c$  — компенсационный эффект  
 $\Delta S_s$  — молярная энтропия растворения, э. е.  
 $S_r$  — энтропия вращательного движения, э. е.  
 $\Delta S_s^0$  — относительная молярная энтропия растворения, э. е.  
 $S_{re}$  — молярная энтропия внешнего вращения  
 $S_{ri}$  — молярная энтропия внутреннего вращения  
 $S_{tr}$  — молярная энтропия перемещения  
 $T$  — температура  
 $t_R$  — время удерживания  
 $t_0$  — мертвое время системы  
 $u$  — скорость газа-носителя  
 $U_d$  — энергия дисперсионного взаимодействия  
 $U_i$  — энергия индукционного взаимодействия  
 $U_0$  — энергия ориентационного взаимодействия  
 $V$  — фактор для оценки полярности  
 $V_g$  — удельный объем удерживания  
 $\bar{V}_l$  — молярный объем жидкости  
 $V_l$  — объем неподвижной фазы  
 $V_N$  — чистый объем удерживания  
 $w_l$  — масса неподвижной фазы  
 $w_l^0$  — массовая доля неподвижной фазы в смешанной неподвижной фазе  
 $x$  — молярная доля  
 $\alpha$  — поляризуемость  
 $\gamma$  — коэффициент активности  
 $\gamma^0$  — относительный коэффициент активности  
 $\mu$  — дипольный момент

Обозначения растворителей: А — ацетон; Б — бензол; Г — *n*-гексан; Д — диоксан; К — ксилол; Мх — метилхлорид; Т — толуол; Х — хлороформ; Э — этилацетат, Эт — этанол, Ээ — диэтиловый эфир.

## Основные характеристики неподвижных фаз и методики их измерения

### Глава 1

#### ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ НЕПОДВИЖНЫХ ФАЗ

Хроматография представляет собой метод, основанный на дифференциальной миграции разделяемых веществ; разделение компонентов смеси происходит вследствие различной скорости движения хроматографических зон компонентов вдоль колонки. Скорость движения зоны, в свою очередь, непосредственно связана с чистым объемом удерживания сорбата  $V_N$ , а отношение скоростей движения зон двух компонентов выражается через относительное удерживание  $r$ :

$$r = V_{N1}/V_{N2} \quad (1)$$

Для того, чтобы на данной колонке два компонента были разделены, необходимо, чтобы относительное удерживание отличалось от единицы. Таким образом, относительное удерживание и представляет собой количественную характеристику избирательности неподвижной фазы в хроматографии.

Газохроматографическая колонка заполнена сорбентом, представляющим собой твердый носитель, на который нанесена жидкая неподвижная фаза. Суммарный процесс распределения разделяемого вещества (сорбата) между газовой фазой и сорбентом представляет собой сумму, по меньшей мере, трех элементарных сорбционных процессов: распределение газ — жидкость, адсорбция на поверхностях раздела жидкость — газ и твердый носитель — жидкость. В капиллярной хроматографии в процессе сорбции участвует поверхность раздела стенки капиллярной колонки — жидкость. Следовательно, при газохроматографическом разделении и при оценке избирательности колонки необходимо учитывать для реальной системы все сорбционные процессы. В первой главе мы ограничимся обсуждением только одного, основного процесса — распределение жидкость — газ. Все остальные сорбционные явления в газохроматографической колонке будут рассмотрены в гл. 3.

Если исходить из предположения, что сорбционный процесс в ГЖХ можно целиком отнести за счет равновесия газ — жидкость, то относительное удерживание может быть выражено как отношение коэффициентов распределения жидкость — газ  $K$ :

$$r = K_1/K_2 = K^0 \quad (2)$$

Коэффициент распределения непосредственно связан с одной из

фундаментальных характеристик растворов — с коэффициентом активности  $\gamma$ :

$$K = N_1 RT_1 \gamma_1 p^0 \quad (3)$$

где  $N_1$  — количество молей неподвижной фазы в единице объема;  $p^0$  — давление пара чистого сорбата при температуре опыта  $T$ .

Относительный коэффициент распределения  $K^0$  при использовании последнего уравнения может быть выражен через относительный коэффициент активности  $\gamma^0$ :

$$K^0 = \gamma_2 p_2^0 / \gamma_1 p_1^0 = \gamma^0 p_2^0 / p_1^0 \quad (4)$$

Последнее уравнение включает два члена: отношение давлений пара чистых сорбатов (характеристика индивидуальных веществ) и относительный коэффициент активности (характеристика межмолекулярного взаимодействия в растворе). С точки зрения физической химии избирательность состоит в обеспечении различных значений коэффициентов активности изучаемых веществ. С такими соображениями связаны многочисленные предложения оценивать избирательность неподвижной фазы в ГЖХ по относительному коэффициенту активности.

Однако при выборе условий газохроматографического анализа химика интересует не столько специфика образующихся в колонке растворов, сколько ответ на вопрос: каков относительный объем удерживания веществ. Именно этот параметр определяет возможность разделения веществ; коэффициент активности непосредственно не дает представления о возможности разделения компонентов смеси. Если учесть, что вычисление коэффициента активности требует наличия достаточно большой информации о свойствах разделяемых веществ и неподвижной фазы, то, несомненно, относительное удерживание является простейшей и достаточно наглядной характеристикой избирательности неподвижной фазы в ГЖХ.

Для практики ГЖХ гораздо больший интерес, чем коэффициент активности, представляют термодинамические величины, характеризующие конденсацию (испарение) сорбата в его бесконечно разбавленном растворе в неподвижной фазе. Относительное удерживание связано с относительной мольной свободной энергией конденсации  $\Delta G_s^0$  мольной теплотой конденсации  $\Delta H_s^0$  и мольной энтропией конденсации  $\Delta S_s^0$ :

$$\Delta G_s^0 = -RT \ln r = \Delta H_s^0 - T \Delta S_s^0 \quad (5)$$

В газохроматографической литературе все эти величины обозначают как термодинамические функции растворения, поэтому при дальнейшем изложении материала мы будем придерживаться терминов, общепринятых для ГЖХ. Мольная теплота растворения характеризует межмолекулярные силы, связывающие молекулы сорбата и неподвижной фазы, мольная энтропия растворения определяет степень упорядоченности системы.

Таким образом, избирательность неподвижной фазы может быть выражена посредством трех параметров: суммарной (от-

носительное удерживание), энтальпийной (относительная мольная теплота растворения) и энтропийной избирательностей. Последние два параметра называют термодинамическими характеристиками избирательности; эти показатели могут быть непосредственно связаны с межмолекулярными силами в растворе и с упорядоченностью системы. Термодинамические характеристики избирательности сравнительно просто связаны со свойствами молекул сорбата и неподвижной фазы, поэтому их использование предпочтительно как при оценке избирательности неподвижной фазы, так и при расчетах величин удерживания на основе термодинамических функций растворения.

При конденсации одного моля идеального газа выделяется энергия, равная  $RT$ . При образовании раствора для неидеальных систем между молекулами сорбата и неподвижной фазы возникают межмолекулярные силы, которые оцениваются как  $\Delta H_{sl}$ ; в то же время необходимо затратить энергию образования дырки в среде неподвижной фазы  $\Delta H_h$ :

$$\Delta H_s = \Delta H_{sl} + \Delta H_h + RT \quad (6)$$

В жидкой фазе взаимодействие между молекулами осуществляется за счет ориентационных, индукционных и дисперсионных сил, называемых в совокупности ван-дер-ваальсовыми. Кроме того, в растворах могут проявляться полухимические взаимодействия: водородная связь, комплексообразование и т. п.

Энергия дисперсионного взаимодействия двух сферических частиц описывается уравнением Лондона:

$$U_d = -k \alpha_1 \alpha_2 / \bar{r}^6 \quad (7)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от потенциала ионизации частиц;  $\alpha$  — поляризуемость;  $\bar{r}$  — расстояние между частицами.

Поскольку каждая частица обладает определенной поляризуемостью, дисперсионные силы проявляются при взаимодействии

Таблица 1.1. Атомные рефракции некоторых атомов и атомных групп (см<sup>3</sup>)

Группа атомов, атом	Рефракция	Группа атомов, атом	Рефракция	Группа атомов, атом	Рефракция
CH <sub>2</sub>	4,60	C=O	2,19	R <sub>2</sub> =NH	2,48
C	2,41	Cl	5,93	R <sub>3</sub> ≡N	2,81
H	1,09	Br	8,80	C≡N	3,10
OH	1,52	J	13,76	Поправка на двойную связь	1,69
—O—	1,64	R—NH <sub>2</sub>	2,31	Поправка на тройную связь	2,33

Примечание. Атомы, к которым относится атомная рефракция, подчеркнуты (для сложных групп). Если ни один из атомов группы не подчеркнут, рефракция относится ко всей атомной группе

Таблица 1.2. Ван-дер-ваальсовы радиусы некоторых атомов и атомных групп

Атом, атомная группа	Радиус, нм	Атом, атомная группа	Радиус, нм	Атом, атомная группа	Радиус, нм
H	12	S	18,5	Se	20
CH <sub>3</sub>	20	P	19	Te	22
N	15	As	19	Sb	22
F	13,5	Cl	18	I	21,5
O	14	Br	19,5		

любых частиц. В растворах органических соединений дисперсионные силы вносят основной вклад в энергию межмолекулярного взаимодействия, а для неполярных молекул только они обуславливают межмолекулярные взаимодействия.

Поляризуемость частиц в первом приближении можно выразить как молекулярную рефракцию; последняя аддитивна по атомным рефракциям, значения которых приведены в табл. 1.1. Минимально возможные расстояния между частицами определяются как сумма ван-дер-ваальсовых радиусов этих частиц (последние характеристики для атомов и некоторых атомных групп приведены в табл. 1.2). Такие расстояния реализуются лишь при температурах, близких к абсолютному нулю; в жидком состоянии расстояния между частицами больше, чем сумма их ван-дер-ваальсовых радиусов. Размер самих взаимодействующих частиц может быть охарактеризован ковалентными радиусами атомов и групп атомов. Достаточно точное вычисление энергии дисперсионных сил даже для простейших систем осложнено тем, что определение реальных расстояний между частицами наталкивается на существенные трудности; однако корреляционные расчеты с использованием поляризуемости частиц широко распространены.

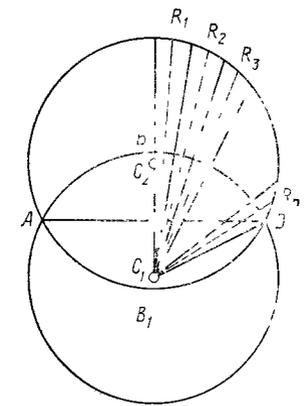
Использование уравнения (7) для расчетов энергии дисперсионного взаимодействия в газохроматографических растворах связано с некоторыми ограничениями. Прежде всего, расстояния между частицами должны быть намного больше, чем размеры этих частиц (ковалентные радиусы); это условие реализуется для молекул типа инертных газов, у которых ван-дер-ваальсовы радиусы намного превышают ковалентные.

Однако газохроматографические растворы представляют собой бинарные системы, один из компонентов которых имеет большую молекулярную массу (неподвижная фаза), а размеры молекул сорбата, по меньшей мере, сравнимы с ван-дер-ваальсовыми радиусами. Следовательно, для газохроматографических систем в уравнение (7) нельзя подставлять рефракции молекул и их ван-дер-ваальсовы радиусы.

Выходом из создавшегося положения может быть использование правила аддитивности для расчета дисперсионного взаимодействия молекул как суммы инкрементов отдельных атомов,

Рис. 1. К расчету внутримолекулярного экранирования.

Молекула этана: C<sub>1</sub> и C<sub>2</sub> — центры атомов углерода. Вокруг каждого атома углерода описана окружность с ван-дер-ваальсовым радиусом 0,2 нм. Ван-дер-ваальсовы сферы двух атомов углерода частично экранируют друг друга. Часть окружности 1BD атома C<sub>1</sub> экранирована ван-дер-ваальсовой сферой атома C<sub>2</sub>



входящих в состав этих молекул. Каждый атом или атомная группа (например, метильная или метиленовая группа) обладают легко находимой по справочным данным атомной рефракцией. Однако атомы и атомные группы экранируются внутри молекулы ближайшими частицами (рис. 1): ван-дер-ваальсовы радиусы атомов гораздо больше ковалентных. Вследствие такого внутримолекулярного экранирования лишь часть поверхности атомной группы взаимодействует с окружающей средой: эта часть определяется из рис. 1, что дает возможность рассчитать для каждой атомной группы коэффициент внутримолекулярного экранирования в зависимости от размеров ближайших частиц (табл. 1.3).

Из уравнения (7) видно, что энергия дисперсионного взаимодействия падает пропорционально шестой степени расстояния между частицами и поэтому без особых ошибок можно ограничиться рассмотрением взаимодействия между двумя наиболее близко расположенными атомными группами сорбата и неподвижной фазы. В этом случае соблюдаются основные условия использования уравнения (7).

Если одна из взаимодействующих частиц неполярна, а вторая обладает дипольным моментом  $\mu$ , между ними возникает

Таблица 1.3. Коэффициенты внутримолекулярного экранирования отдельных атомов и атомных групп

Молекула	Атом, атомная группа	Коэффициент	Молекула	Атом, атомная группа	Коэффициент
Бензол	CH	0,45	Пропан	CH <sub>3</sub>	0,78
Толуол	CH <sub>3</sub>	0,73		CH <sub>2</sub>	0,54
	C	0,19	Изопентан	CH <sub>2</sub>	0,40
Этилбензол	CH <sub>3</sub>	0,72		CH <sub>3</sub>	0,65
	CH <sub>2</sub>	0,53	2-Хлорбутан	Cl	0,10
	C	0,15	Ацетон	O	0,75
n-Пропилбензол	CH <sub>2</sub>	0,48	Хлорбензол	Cl	0,78
n-Бутилбензол	CH <sub>2</sub>	0,42	Иодбензол	I	0,93
Стирол	CH <sub>2</sub>	0,71	Бромбензол	Br	0,80
n-Гексан	CH <sub>3</sub>	0,725	1-Хлоргексан	Cl	0,77
	α-CH <sub>2</sub>	0,48	Диэтиловый эфир	O	0,50
	β-CH <sub>2</sub>	0,42			

Таблица 1.4. Дипольные моменты (в D) некоторых связей в органических соединениях

Связь	Ароматический радикал	Алифатический радикал	Связь	Ароматический радикал	Алифатический радикал
R—CH <sub>3</sub>	0,45	0	R—Br	—1,52	—2,21
R—OCH <sub>3</sub>	1,23	—1,29	R—CN	—3,89	—3,46
R—NH <sub>2</sub>	1,55	1,23	R—NO <sub>2</sub>	—3,93	—3,30
R—Cl	—1,56	—2,15			

Примечание. Данные взяты из: Киприанов А. И. Введение в электронную теорию органических соединений. Киев, Наукова думка, 1965, с. 85.

индукционное взаимодействие, энергия которого описывается следующим уравнением:

$$U_i = -k\alpha_1\mu_2^2/r^6 \quad (8)$$

Обычно энергия индукционного взаимодействия составляет не более 5% от общей энергии ван-дер-ваальсового взаимодействия. Так же, как и уравнение (7), последнее соотношение может применяться только в случае, когда расстояния между частицами намного больше, чем их ковалентные радиусы. Необходимо рассматривать взаимодействие лишь между двумя атомными группами, находящимися на минимальном расстоянии, принимается во внимание диполь атомной группы или двух химически связанных атомов (диполь связи), поскольку суммарный дипольный момент молекулы относится к диполью, обладающему большим размером, чем ван-дер-ваальсов радиус атомной группы. Представления о значениях дипольных моментов отдельных химических групп атомов может дать табл. 1.4.

Для двух частиц, обладающих дипольными моментами, возникает ориентационное взаимодействие, энергия которого описывается уравнением

$$U_0 = -k\mu_1^2\mu_2^2/Tr^6 \quad (9)$$

Под взаимодействующими частицами в данном случае подразумеваются химически связанные атомы (микродиполи связей). В отличие от дисперсионных и индукционных сил для ориентационных характерна векторная природа, т. е. энергия взаимодействия двух диполей зависит от их взаимной ориентации.

Максимальная энергия ориентационного взаимодействия реализуется тогда, когда микродиполи связей расположены параллельно и положительный полюс одного микродиполя расположен над отрицательным полюсом другого микродиполя. Практически такое оптимальное расположение взаимодействующих микродиполей не достигается в реальных газохроматографических растворах: микродиполи жестко фиксированы в молекулах взаимодействующих веществ, а взаимная ориентация молекул далеко не всегда зависит от расположения и наличия в

них микродиполей. Кроме того, с увеличением температуры возрастает кинетическая энергия молекул, вследствие чего возможность оптимальной взаимной ориентации микродиполей снижается. Эти два обстоятельства приводят к тому, что при реализации ориентационного взаимодействия в растворах большую роль приобретает стерический фактор, т. е. возможность встречи двух микродиполей и оптимального их взаимного расположения.

Особенности ориентационного взаимодействия в газохроматографических растворах позволяют сформулировать понятие полярности неподвижной фазы с точки зрения физической химии. Если под полярностью неподвижной фазы понимать энергию ориентационного взаимодействия, то она пропорциональна квадрату дипольных моментов микродиполей, входящих в состав молекулы неподвижной фазы, и числу полярных групп в пространстве. Поскольку метиленовые и метильные группы обладают ничтожно малым дипольным моментом, практически стерические препятствия для ориентационного взаимодействия определяются соотношением полярных и неполярных групп в молекуле неподвижной фазы. Чем больше полярных групп находится в молекуле неподвижной фазы, тем большей полярностью обладает эта молекула. Кроме того, полярность неподвижной фазы должна быть отнесена к определенной температуре опыта, поскольку энергия ориентационного взаимодействия падает по мере повышения температуры.

Кроме ван-дер-ваальсового взаимодействия в газохроматографических растворах могут возникать взаимодействия, связанные с образованием комплексов, возникновением водородной связи и других специфических взаимодействий. Наиболее часто встречаются случаи проявления водородной связи, энергия которой достаточно велика и для большинства спиртов, например, сравнима с энергией дисперсионного взаимодействия.

Работа образования дырки в среде неподвижной фазы для размещения молекулы сорбата вычисляется на основе эксперимента с различными модельными соединениями. Этот член зависит от структуры жидкости, от формы молекулы сорбата и других факторов.

Таким образом, энтальпийная избирательность неподвижной фазы может трактоваться на молекулярном уровне с учетом отдельных параметров молекул сорбатов таких, как поляризуемость, ван-дер-ваальсовы радиусы, микродиполи, что позволяет, по крайней мере, на полуколичественном уровне оценивать избирательность различных неподвижных фаз при разделении органических соединений различной природы и структуры. Относительная мольная теплота растворения, кроме того, еще определяет изменение относительного удерживания с температурой колонки; эта характеристика дает возможность оценивать избирательность неподвижной фазы во всем температурном интервале.

Энтропийная избирательность неподвижной фазы характеризуется мольной энтропией растворения сорбатов. При переходе молекул сорбата из газовой фазы в раствор их энтропия снижается вследствие ограничения степеней свободы частиц. Мольная энтропия растворения представляет собой разность мольной энтропии вещества в газовой и жидкой фазах. В газовой фазе для идеального газа энтропия формируется как сумма вращательной энтропии ( $S_r$ ), энтропии колебательных движений, энтропии перемещения ( $S_{tr}$ ), электронной и ядерной энтропий, причем в первом приближении все эти виды энтропии являются независимыми членами. При переходе молекулы из газовой фазы в раствор изменяются лишь энтропии вращательная и перемещения. Все остальные виды остаются неизменными и поэтому не оказывают влияния на формирование энтропии растворения.

Мольную энтропию перемещения для идеального газа описывает уравнение Сакура — Тетроде:

$$S_{tr} = 1,5R \ln T - R \ln \bar{V}_g + 1,5 \ln M - 11,069 \quad (10)$$

где  $\bar{V}_g$  — мольный объем газа, мл;  $M$  — молекулярная масса вещества.

Если обозначить мольный объем идеальной жидкости через  $\bar{V}_l^{id}$ , то

$$\Delta S_{tr} = R \ln \bar{V}_l^{id} - R \ln \bar{V}_g \quad (11)$$

Уравнение (11) следует из того обстоятельства, что энтропия перемещения пропорциональна логарифму объема, в котором может перемещаться частица: изменение объема моля сорбата при его конденсации и служит причиной снижения энтропии перемещения при переходе молекул из газовой фазы в жидкую. Уравнение (11) характеризует изотермический равновесный процесс, а молекулярный вес сорбата одинаков как для газовой, так и для жидкой фаз; поэтому на формирование изменения энтропии перемещения при растворении влияние оказывает из уравнения Сакура — Тетроде только член, характеризующий объем системы, где перемещается молекула сорбата. Газохроматографические растворы представляют собой системы с очень низкой концентрацией сорбата, давление пара сорбата над такими растворами настолько мало, что газовая фаза может трактоваться как идеальная, при этом объем одного моля газа при нормальных условиях равен 22,4 л. Тогда последнее уравнение принимает вид

$$\Delta S_{tr} = R \ln \bar{V}_l^{id} - 8,7 \quad (12)$$

В реальной жидкости часть объема приходится на ван-дер-ваальсов объем частиц. В этом объеме частицы сорбата передвигаться не могут, поэтому свободная зона для перемещения молекул сорбата описывается разностью между реальным объемом моля неподвижной фазы при данной температуре и его ван-дер-

ваальсовым объемом. В первом приближении объем свободной зоны для перемещения молекул вещества пропорционален молекулярной массе

$$R \ln \bar{V}_l = R \ln M + k \quad (13)$$

где  $k$  — постоянная.

Как уже отмечалось выше, для характеристики избирательности неподвижной фазы необходимо привлекать относительные величины; следовательно, следует сравнивать изменение энтропии перемещения при растворении для двух сорбатов — 1 и 2. При сочетании уравнений (12) и (13) получим, что относительная величина изменения энтропии перемещения при растворении равна  $R \ln (M_1/M_2)$ .

При рассмотрении реальных жидкостей приходится учитывать силы, связывающие молекулы сорбата и неподвижной фазы, что выражается мольной теплотой растворения; ясно, что чем больше силы, связывающие молекулы сорбата и неподвижной фазы, тем меньше вероятность передвижения молекул сорбата в среде неподвижной фазы, следовательно, изменение энтропии перемещения связано с мольной теплотой растворения сорбата. Такая связь обычно обозначается как компенсационный эффект и отмечается для многих физико-химических явлений. Согласно экспериментальным данным [1], этот компенсационный эффект для газохроматографических систем записывается как

$$\Delta S_c = 435 \Delta H_s^0 / T \quad (14)$$

Итак, для газохроматографических растворов:

$$\Delta S_s^0 = 435 \Delta H_s^0 / T + R \ln (M_1/M_2) + \Delta S_{re}^0 + \Delta S_{ri}^0 \quad (15)$$

где  $\Delta S_{re}^0$  — относительное изменение энтропии внешнего вращения частицы;  $\Delta S_{ri}^0$  — относительное изменение энтропии внутреннего вращения частицы.

Под внешним вращением подразумевается вращение молекулы как жесткой частицы, размеры которой заданы стереохимическими законами формирования пространственной структуры молекул. Внутреннее вращение — вращение отдельных атомных групп внутри молекулы вокруг химических связей. Торможение как внутреннего, так и внешнего вращения молекулы при переходе из газовой фазы в раствор зависит прежде всего от плотности упаковки молекул неподвижной фазы.

Последнее уравнение может быть переписано так:

$$\Delta S_s^0 = 435 \Delta H_s^0 / T + F^0 \quad (16)$$

где  $F^0$  — энтропийная избирательность неподвижной фазы, представляющая собой параметр, независимый от энергии межмолекулярных сил.

Таким образом, суммарная избирательность неподвижной фазы может быть вычислена по термодинамическим составляющим — энтальпийной и энтропийной. Каждая из этих составляющих трактуется на молекулярном уровне, имеет определен-

ный физический смысл, что облегчает расчеты и понимание природы избирательности неподвижных фаз в ГЖХ.

Относительное удерживание характеризует возможность разделения двух выбранных веществ и, казалось бы, можно классифицировать неподвижные фазы по избирательности разделения данной пары соединений. Однако таких пар можно набрать тысячи, что, конечно же, лишает всякого смысла классификацию неподвижных фаз по возможности разделения только одной, выбранной пары соединений. Следовательно, необходимо выбрать какие-то общие признаки избирательности, которые позволили бы применять критерии избирательности к как можно большему количеству разделяемых веществ. Такими признаками избирательности неподвижных фаз могли бы быть полярности и изомерная избирательность. Физический смысл полярности объяснен выше: это — вероятность осуществления максимального ориентационного взаимодействия с неподвижной фазой. Полярные неподвижные фазы используют для эффективного разделения веществ, молекулы которых различаются по полярности. По мере увеличения полярности неподвижной фазы, в первом приближении, основным фактором в формировании объема удерживания сорбата становится не его давление пара (температура кипения), а полярность его молекулы; в результате высококипящие малополярные сорбаты выходят из колонки раньше низкокипящих, но полярных соединений.

Если изомерные вещества различаются по степени экранирования полярной функциональной группы, полярные неподвижные фазы также обеспечат наилучшее разделение изомеров. Если же изомеры не различаются по полярности, а лишь по пространственной конфигурации молекул, выбор избирательной неподвижной фазы для разделения таких изомеров достаточно сложен.

Энтальпийные и энтропийные характеристики избирательности неподвижных фаз опубликованы в работах [2—4]. В работе [4] определены инкременты энтальпийной избирательности для метиленовых гидроксильных, карбонильных и эфирных групп на 75 неподвижных фазах. Возражения встречают попытки использовать для характеристики избирательности неподвижной фазы только свободную мольную энергию растворения [5, 6]; действительно, этот показатель включает в себя два различных по природе параметра — энтальпийный и энтропийный, а при трактовке избирательности трудно обоснованно отнести наблюдаемый эффект к одному из видов межмолекулярного взаимодействия. В принципе, мольная свободная энергия растворения пропорциональна логарифму объема удерживания и, таким образом, суммарная избирательность, выраженная относительным удерживанием, по информационной ценности ничем не уступает логарифму этого же показателя.

Наибольшее распространение в практике ГЖХ нашли эмпирические показатели оценки избирательности неподвижных

фаз: по системам, предложенным Роршнайдером и Мак-Рейнольдсом [7, 8]. Они основаны на использовании выбранных сорбатов-тестов и различаются только выбранными тестами. Удерживание сорбатов-тестов оценивается при помощи индексов Ковача, которые связаны с мольной свободной энергией растворения.

Индекс Ковача записывается так:

$$I = [100 (\lg V_{Nx} - \lg V_{Nc}) / (\lg V_{N(c+1)} - \lg V_{Nc})] + 100c \quad (17)$$

где  $c$  — число атомов углерода в молекуле  $n$ -парафина;  $x$  — относится к удерживанию исследуемого вещества, молекула которого содержит  $c$  атомов углерода.

Разность логарифмов объемов удерживания исследуемого вещества и  $n$ -парафина с тем же числом атомов углерода пропорциональна инкременту мольной свободной энергии растворения, приходящемуся на функциональные или структурные группы в молекуле исследуемого вещества (эти группы отличаются от  $n$ -парафиновой цепочки). В знаменателе находится член, пропорциональный свободной мольной энергии растворения метиленовой группы в исследуемой неподвижной фазе. Таким образом, если избирательность неподвижной фазы характеризуется индексом Ковача, при этом учитываются как специфическое взаимодействие неподвижной фазы с выбранной функциональной или структурной группой, так и свободная энергия растворения метиленовой группы в неподвижной фазе. Строго говоря, последний член вряд ли можно считать характеристикой избирательности, поэтому применение индексов Ковача для этой цели не совсем целесообразно. В системе индексов Ковача в качестве стандарта используют молекулу  $n$ -парафина, дипольный момент которой близок к нулю (неполярный стандарт).

В системе характеристики избирательности неподвижной фазы по Роршнайдеру предполагается наличие двух выбранных неподвижных фаз, для одной из них признак избирательности равен 0, для другой — 100. Этот признак избирательности обычно обозначают как полярность, хотя такой термин никак не отвечает физико-химическому смыслу этого понятия. Полярность исследуемой неподвижной фазы можно в этой системе определять либо в процентном (по Роршнайдеру), либо в абсолютном (по Мак-Рейнольдсу) выражении. Если сравнивают исследуемую (индекс  $I'$ ) и стандартную ( $I''$ ) неподвижные фазы, то

$$I' - I'' = \Delta I = 100 \frac{\lg V'_{Nx} - \lg V'_{Nc}}{\lg V'_{N(c+1)} - \lg V'_{Nc}} - 100 \frac{\lg V''_{Nx} - \lg V''_{Nc}}{\lg V''_{N(c+1)} - \lg V''_{Nc}} \quad (18)$$

В качестве стандартной неподвижной фазы обычно выбирают углеводородную неподвижную фазу (сквалан), для которой, по определению,  $\Delta I = 0$ . Каждая исследуемая неподвижная фаза характеризуется «полярностью», представляющей собой сумму величин  $\Delta I$ , измеренных для выбранных сорбатов-тестов. Вооб-

ше говоря, подобная характеристика в достаточной мере произвольна и в большой степени зависит от того, какие сорбаты-тесты выбраны для сравнения неподвижных фаз. Как правило, авторы предлагаемых систем выбирают сорбаты-тесты, каждый из которых характеризуется одним, преобладающим видом взаимодействия. Например, считается, что основным видом специфического взаимодействия для спиртов служит водородная связь. Однако мольная свободная энергия растворения спиртов характеризует как энергию межмолекулярных сил, так и энтропию. Утверждать, что энтропия описывает какое-либо специфическое взаимодействие, было бы ошибочным.

В системе оценки избирательности неподвижных фаз, предложенной Роршнайдером, используют такое выражение для вычисления суммарного критерия избирательности:

$$\Delta I = a\Delta I_{bz}/100 + b\Delta I_{et}/100 + c\Delta I_{mk}/100 + d\Delta I_{Nm}/100 + e\Delta I_{py}/100 \quad (19)$$

где индексы *bz*, *et*, *mk*, *Nm*, *py* относятся, соответственно, к бензолу, этанолу, метилэтилкетону, нитрометану и пиридину.

Величины *a*, *b*, *c*, *d*, *e* приведены для различных сорбатов-тестов в табл. I.5. Роршнайдер полагает, что удерживание бензола характеризует электронодонорное взаимодействие, этанола — протондонорное, метилэтилкетона — ориентационное, нитрометана — электроакцепторное и пиридина — протонакцепторное. Данные табл. I.5 показывают, что, в принципе, можно использовать любой из приведенных в ней сорбатов-тестов с привлечением соответствующих коэффициентов.

Мак-Рейнольдс [9] предложил несколько иной выбор сорбатов-тестов, чем Роршнайдер, обращая основное внимание на более высококипящие компоненты: *n*-бутанол, пентанон-2, нит-

ропропан. Мак-Рейнольдс объясняет такую замену техническими причинами, связанными с трудностями определения низкомолекулярных *n*-парафинов, что необходимо для вычисления индексов Ковача. Например, для этанола приходится в качестве *n*-парафина использовать этан, время удерживания которого при высоких температурах трудно измерить с достаточной точностью; для *n*-бутанола необходимо определять время удерживания *n*-бутана, измеряемое с большей точностью. Кроме того, Мак-Рейнольдс предложил для оценки неподвижных фаз такой набор сорбатов: пентанол-2,1-нодбутан, октин-2, диоксан и гидриндан (*цис*). По методу Роршнайдера определение полярности неподвижной фазы проводят при 373,2 К, в то время как Мак-Рейнольдс использует на 20° более высокую температуру. И, наконец, Роршнайдер для опытов применяет необработанный инертный твердый носитель, в то время как Мак-Рейнольдс модифицирует носитель 0,5% детергента. Эти различия необходимо учитывать при сравнении индексов избирательности неподвижной фазы, вычисленных по системам Роршнайдера и Мак-Рейнольдса.

В газохроматографической литературе характеристику избирательности неподвижной фазы по Роршнайдеру или Мак-Рейнольдсу называют полярностью, хотя, как это следует из определения, сумма инкрементов индекса Ковача, выбранная достаточно произвольно, не может характеризовать полярность неподвижной фазы в физико-химическом смысле. В самом деле, рассмотрим показатели удерживания сорбатов-тестов хотя бы в системе Роршнайдера. Полагают, что инкремент индекса Ковача для бензола относится к электронодонорному взаимодействию. Действительно, молекула бензола обладает облаком достаточно подвижных  $\pi$ -электронов, однако было бы грубой ошибкой полагать, что различие в удерживании бензола и *n*-гексана (последний используют в системе индекса Ковача для сравнения) характеризует только специфику взаимодействия с  $\pi$ -электронами; на результаты удерживания бензола влияют также и форма, размеры молекулы, поляризуемость и другие факторы. Если оценивать электроакцепторное взаимодействие по нитрометану, то при этом основные различия между молекулами метана и нитрометана относят к ориентационному взаимодействию с полярной неподвижной фазой. Однако, если неподвижная фаза имеет активный водородный атом, способный образовывать водородную связь, то удерживание нитрометана в этом случае зависит также и от энергии водородной связи с неподвижной фазой. То же можно сказать и об удерживании метилэтилкетона, который может образовывать водородную связь и вступать в ориентационное взаимодействие. Кроме того, сумма инкрементов индекса Ковача для различных тестов не имеет никакого прямого физического смысла и не характеризует определенной избирательности неподвижной фазы по одному молекулярному признаку.

Таблица I.5. Коэффициенты полярности сорбатов по системе Роршнайдера

Сорбат	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
Метилэтилкетон	0	0	100	0	0
Ацетон	-5	-5	95	8	6
Метилиодид	71	-15	-43	32	9
Хлороформ	70	29	-73	53	-6
Тетрахлорид углерода	63	-21	-57	28	34
Нитрометан	0	0	0	100	0
Нитроэтан	-5	-11	44	76	-1
Ацетонитрил	3	-16	30	84	0
Пиридин	0	0	0	0	100
Тиофен	106	-5	-32	20	11
Этанол	0	100	0	0	0
<i>n</i> -Пропанол	-9	105	0	7	-7
Изопропанол	-18	96	16	-7	2
Бензол	100	0	0	0	0
Стирол	127	0	-8	11	-9
Диоксан	46	-3	40	-7	40

Выбор сорбата-теста является решающим для количественной оценки избирательности неподвижной фазы; поэтому для определения избирательности неподвижных фаз целесообразно использовать определенный, согласованный набор стандартов-тестов. Какие-либо вновь предложенные сорбаты-тесты не могут изменить принципиальной картины подхода к оценке избирательности неподвижной фазы, поэтому вряд ли следует серьезно рассматривать время от времени появляющиеся сообщения о новых системах сорбатов-тестов для вычисления избирательности неподвижных фаз. Нам кажется, что системы Роршайдера и Мак-Рейнольдса достаточно представительны и вполне пригодны для стандартной эмпирической характеристики избирательности неподвижных фаз.

«Полярность» неподвижной фазы может быть оценена также и по инкременту удерживания на одну метиленовую группу сорбата [10]. При увеличении полярности неподвижной фазы сумма энергий дисперсионного и индукционного взаимодействия остается примерно постоянной или несколько возрастает; однако при этом увеличивается энергия образования дырки и снижается мольная энтропия растворения вследствие торможения движения молекулы в более плотной среде неподвижной фазы. В результате удерживание неполярного парафинового соединения при возрастании полярности неподвижной фазы, в первом приближении, падает (исключения — неподвижные фазы, содержащие гидроксильные группы). Этот фактор действительно коррелирует с полярностью.

Общее уравнение для суммарной оценки «полярности» неподвижной фазы можно выразить так:

$$D_{i\alpha} = \sum_{j=1}^n V_{ij}V_{\alpha j} \quad (20)$$

где  $D_{i\alpha}$  — удерживание исследуемого сорбата  $i$  на неподвижной фазе  $\alpha$ ;  $V_{ij}$  —  $j$ -тый фактор  $i$ -того сорбата;  $V_{\alpha j}$  —  $j$ -тый фактор неподвижной фазы [11].

Уравнение (20) представляет собой линейную комбинацию ряда факторов, отражающих взаимодействие исследуемого сорбата и неподвижной фазы. Достаточно точное решение этого уравнения сводится к подбору необходимого минимального количества достаточно весомых факторов, влияющих на удерживание сорбата в данной неподвижной фазе. Это — типичная задача факторного анализа, причем исследователь не должен задаваться какой-либо априорной моделью раствора. Если задаться типичной ошибкой определения удерживания в ГЖХ (1—2 ед. индекса Ковача), то достаточно 8 параметров для решения уравнения (20) [12]. В цитированной работе в качестве таких параметров предложены способность к образованию во-

дородной связи, ориентационное взаимодействие, наличие эфирной связи в молекуле неподвижной фазы, количество атомов углерода в молекуле сорбата, характеристики неидеальности газовой фазы, мольная рефракция, дипольный момент и мольная теплота испарения сорбата. В этой же работе в качестве сорбатов-тестов предлагаются пиридин и метилэтилкетон, а в качестве стандартной неподвижной фазы с нулевой полярностью — метилсиликон QF-1, хотя полярность метилсиликона выше полярности углеводородов.

В работе [13] предложено использовать 4 сорбата-теста (бензол, нитроэтан, *n*-пропанол и диоксан); при использовании различных наборов стандартов-тестов по программам для ЭВМ можно достаточно хорошо характеризовать самые различные неподвижные фазы [14].

Таким образом, для эмпирической оценки избирательности неподвижной фазы необходимо иметь определенный набор факторов (стандартов-тестов, сочетания стандартов-тестов с физико-химическими параметрами молекул неподвижных фаз и сорбатов) и выбрать неподвижную фазу, избирательность которой является точкой начала отсчета шкалы. Такие принципы предполагают существенный произвол в системах оценки избирательности неподвижной фазы, поэтому целесообразно ограничиться одной какой-либо системой не столько потому, что она правильнее всех отражает эти принципы, сколько для стандартизации методики. Нам кажется, что системы Роршайдера и Мак-Рейнольдса являются наиболее подходящими как получившие широкое распространение. Вопрос о выборе стандартной неподвижной фазы с нулевой полярностью должен решаться также эмпирически и вряд ли можно возражать против выбора сквалана в качестве такой неподвижной фазы, хотя в некоторых работах [15] делаются попытки предложить систему без стандартной неподвижной фазы.

Эмпирические критерии выбора неподвижной фазы типа рассмотренных выше имеют определенную ценность для группировки многочисленных предложенных в литературе неподвижных фаз в отдельные кластеры. Так, в работе [16] сообщалось о возможности систематизации неподвижных фаз в 16 кластеров, а в работе [17] — в 13 кластеров. Однако в первом случае 28 неподвижных фаз не удалось поместить в найденные кластеры, а во втором случае — 41. Подобные примеры показывают одновременно ценность и ограничения в использовании эмпирических методов классификации неподвижных фаз. Целью каждой классификации неподвижных фаз должно быть выявление неподвижных фаз, обладающих определенным признаком избирательности (стандартные неподвижные фазы), и замена многочисленных сходных по избирательности неподвижных фаз одной стандартной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Korol A. N. — Chromatographia, 1975, v. 8, N 8, p. 385—389.
2. Reinbold B. L., Risby T. H. — J. Chromatogr. Sci., 1975, v. 13, N 8, p. 372—380.
3. Figgins C. E., Reinbold B. L., Risby T. H. — J. Chromatogr. Sci., 1977, v. 15, N 6, p. 208—214.
4. Risby T. H., Jurs P. C., Reinbold B. L. — J. Chromatogr., 1974, v. 99, p. 173—192.
5. Golovnya R. V., Misharina T. A. — Chromatographia, 1977, v. 10, N 11, p. 658—663.
6. Головня Р. В., Мишарина Т. А. — Усп. химии, 1980, т. 49, № 1, с. 171—195.
7. Rohrschneider L. — J. Chromatogr., 1966, v. 22, N 1, p. 6—22.
8. Rohrschneider L. — In: «Adv. Chromatogr.»/Giddings J. C. (Editor), New York, Academ. Press, 1967, v. 4, p. 333—355.
9. McReynolds W. O. — J. Chromatogr. Sci., 1970, v. 8, N 8, p. 685—693.
10. Weiner P. H., Parcher J. F. — Anal. Chem., 1973, v. 45, N 2, p. 302—307.
11. Weiner P. H., Howery D. G. — Can. J. Chem., 1972, v. 50, N 4, p. 448—451.
12. Hartkopf A., Grunfeld S., Delumyea R. — J. Chromatogr. Sci., 1974, v. 12, N 3, p. 119—123.
13. Chovin P., Lebbe J. — J. Gas Chromatogr., 1966, v. 4, N 2, p. 37—41.
14. DeClerco H. e. a. — J. Chromatogr., 1976, v. 122, N 3, p. 535—542.
15. Evans M. B. — Chromatographia, 1978, v. 11, N 4, p. 183—187.
16. Wold S. — J. Chromatogr. Sci., 1975, v. 13, N 11, p. 525—531.
17. Ritter G. L., Isenhour T. L. — Computers & Chemistry, 1977, v. 1, N 1, p. 145—152.

## Глава 2

### ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРЕДЕЛЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕПОДВИЖНОЙ ФАЗЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОЛОНКИ

В ГЖХ разделение компонентов смеси производится в таком режиме, когда нанесенная на твердый носитель неподвижная фаза представляет собой жидкость. Следовательно, низший температурный предел использования неподвижной фазы (НТП) ассоциируется с температурой плавления вещества, которое используют в качестве неподвижной фазы. Температура плавления вещества зависит от его чистоты; если же на твердый носитель (стенки капилляра в капиллярной хроматографии) нанесено небольшое количество неподвижной фазы, то температура плавления повышается на несколько градусов вследствие адсорбционного взаимодействия неподвижной фазы с поверхностью носителя (капилляра). Как правило, из осторожности рекомендуется, чтобы НТП неподвижной фазы на 5—10 °С превышал температуру плавления чистого вещества, используемого в качестве неподвижной фазы. Следует отметить, что некоторые вещества, применяемые как неподвижные фазы, не могут быть охарактеризованы определенным НТП: к ним относят вещества, для которых характерно стекловидное состояние, полимеры с большой молекулярной массой.

Температура плавления вещества зависит от плотности упаковки молекул; например, *n*-парафины с относительно регулярной плотной упаковкой изотактических углеродных цепей характеризуются более высокой температурой плавления, чем изомерные им парафины с разветвленной углеродной цепочкой. Поскольку в ГЖХ целесообразно применять неподвижные фазы с минимальным НТП, стараются в качестве неподвижных фаз использовать соединения, углеродные цепочки молекул которых содержат большое число разветвлений. Наличие в молекуле атомных групп, вступающих в электростатическое или специфическое взаимодействие, повышает температуру плавления вещества. Особенно высокие значения температур плавления наблюдаются для соединений, молекулы которых содержат большое число гидроксильных групп.

Верхний температурный предел (ВТП) использования неподвижной фазы в ГЖХ зависит от факторов, связанных с потерей неподвижной фазы и с чувствительностью детектора.

Потери неподвижной фазы из колонки могут быть обусловлены двумя различными процессами: физическими (испарение) и химическими (разложение). Потери за счет испарения свойственны в основном мономерным неподвижным фазам, в то время как потери за счет термодеструкции наблюдаются чаще всего для полимерных неподвижных фаз. Рассмотрим потери неподвижных фаз для каждого из этих классов веществ.

Зависимость давления пара жидкости от температуры описывается уравнением Клаузиуса — Клапейрона:

$$\Delta \ln p^0 = \Delta H_V \Delta (1/T)/R \quad (21)$$

где  $\Delta H_V$  — мольная теплота испарения.

Логарифмическая зависимость давления пара от температуры затрудняет оценку термостабильности неподвижной фазы по температурному увеличению сигнала детектора. В самом деле, температура начала роста сигнала зависит прежде всего от чувствительности детектора, который регистрирует давление пара над неподвижной фазой. Это видно на примере использования для определения ВТП малочувствительного детектора (дериواتографа) и очень чувствительного пламенно-ионизационного прибора. Резкий рост сигнала при повышении температуры неподвижной фазы по дериватографическим определениям наблюдался при температурах на 80—120 °С больших, чем такой же рост, отмеченный при помощи пламенно-ионизационного детектора. Поэтому приводимые в некоторых публикациях графики зависимости сигнала детектора от температуры колонки как информацию о ВТП исследуемой неподвижной фазы следует трактовать с большой осторожностью.

Из уравнения (21) видно, что скорость роста давления пара пропорциональна мольной теплоте испарения неподвижной фазы, а поскольку неподвижные фазы представляют собой высоко-

кипящие вещества, мольная теплота их испарения велика. Небольшие колебания температуры колонки могут вызвать, таким образом, существенные изменения в уносе паров неподвижной фазы из колонки. Так, при использовании высококипящего метилсилкона при 325 °С время жизни колонки составило 200 ч, при 300 °С — 2000 ч, а при 275 °С эта неподвижная фаза не имеет ограничений по времени использования [1].

Задаваясь целью создать критерий допустимого уноса неподвижной фазы из колонки, при котором эффективность колонки не падала бы, следует учитывать тот факт, что зависимость эффективности колонки от количества находящейся в ней неподвижной фазы носит экстремальный характер. Если нанести на носитель неподвижную фазу в количестве на 10% большем оптимального, то испарение из колонки 15—20% неподвижной фазы практически не изменит ее эффективности. Было предложено [2] оценивать ВТП по потере 2% неподвижной фазы из колонки в течение трех месяцев. Следовательно, если допускается без потери эффективности испарение 15—20% неподвижной фазы, то колонка может служить по вышеприведенному критерию до трех лет, что вполне допустимо для аналитических целей. Большая часть данных, приведенных в настоящей книге (назовем их основными данными по ВТП), соответствует именно этим критериям.

ВТП зависит также и от условий хроматографического эксперимента. Оптимальное количество неподвижной фазы на белом диатомитовом носителе составляет 10—15%. Если же для разделения необходимо применять колонки с небольшим количеством неподвижной фазы на носителе (например, для высокотемпературных разделений), потери 2—5% неподвижной фазы изменяют качество разделения. Поэтому для подобных колонок ВТП по сравнению с основными данными снижаются на 30—50 °С.

ВТП полимерных неподвижных фаз определяется температурой разрыва наименее стойких связей в молекуле полимера, при этом образуются низкомолекулярные летучие соединения, уносимые из колонки. Вплоть до достижения температуры разрыва связей давление пара над полимерной неподвижной фазой должно быть пренебрежимо мало, хотя на практике всегда наблюдается некоторый фон. Среди широко распространенных неподвижных фаз полимерной природы минимальная температура разрыва наблюдается для эфирных связей. Поскольку большинство полярных неподвижных фаз содержит эти связи, то их термостойкость сравнительно невысока. Обычно эфирная связь начинает разрушаться уже при температурах около 200 °С; эта температура и является предельной для использования многочисленных полиэфирных неподвижных фаз. Большей термостабильностью обладают полимеры, содержащие простые связи углерод—углерод, их можно использовать до 300—350 °С, однако существенным недостатком этих полимеров слу-

жит их высокая температура плавления или размягчения. Полиизобутилен является, пожалуй, исключением из этого правила, его температура плавления невысока. Наибольшим температурным диапазоном использования в ГЖХ обладают кремнийорганические полимеры, например метилсилконы,— жидкости при комнатной температуре, а ВТП их достигает 300—350 °С. Наиболее термостабильными неподвижными фазами являются карборансилоксановые полимеры, основой полимерной цепи которых служит сферическая ячейка, в которую входят атомы бора, кремния и углерода, ВТП этих соединений достигает 400 °С. Теоретически наиболее термостабильной была бы структура типа графита, однако такие структуры в жидком виде могут быть аппроксимированы лишь полиэфирами. В методе газовой хроматографии с программированной температурой повышение давления пара неподвижной фазы по мере роста температуры колонки должно быть минимальным. Ясно, что мономерные неподвижные фазы вряд ли подходят для этой цели; согласно уравнению Клаузиуса—Клапейрона давление паров над этими жидкостями растет очень быстро с температурой. Следовательно, мономерные неподвижные фазы можно использовать при программированной температуре лишь при таких малых значениях давления пара этих жидкостей, которые не регистрировались бы детектором; при этом максимальные температуры применения таких неподвижных фаз снижаются на 100—150 °С по сравнению с основными значениями ВТП. При использовании капиллярных колонок требования к мономерным неподвижным фазам не такие жесткие, поскольку газовый поток через капиллярную колонку мал и соответственно в детектор поступает лишь небольшое количество уносимых из колонки паров неподвижной фазы (примерно на 1,5—2 порядка меньше, чем у насадочных колонок). Наиболее целесообразно в режиме программирования температуры использовать полимерные неподвижные фазы, давление паров над которыми ничтожно мало до достижения температуры разложения; при этом не следует увлекаться рекомендациями некоторых авторов, что кратковременный нагрев неподвижной фазы выше ВТП допустим в режиме программирования температуры. Появление в неподвижной фазе продуктов термического разложения может привести к снижению температур детекции вследствие каталитических эффектов. Практика использования неподвижных фаз для длительной аналитической работы показывает, что необходимо работать с неподвижными фазами при температурах, по крайней мере, на 20—30 °С ниже основных ВТП.

И, наконец, на практический ВТП влияет также и чувствительность используемого детектора: чем выше чувствительность детектора, тем ниже ВТП данной неподвижной фазы. При использовании пламенно-ионизационных детекторов на максимальной чувствительности реальный ВТП на 50—60 °С ниже основного значения.

Рассмотрим влияние природы и количества неподвижной фазы на эффективность газохроматографической колонки. Последняя характеристика оценивается высотой, эквивалентной теоретической тарелке (ВЭТТ)  $H$ , и зависит от скорости газоносителя  $u$

$$H = A + B/u + Cu \quad (22)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — члены, характеризующие соответственно вихревую, продольную диффузию в газовой фазе и скорость массопередачи.

Нас интересует только коэффициент  $C$ , который связан со свойствами неподвижной фазы уравнением:

$$C = 8\bar{d}_l^2/\pi^2 (1+k)^2 D_1 \quad (23)$$

где  $\bar{l} = KV_1/V^0$ ;  $d_l$  — эффективная толщина пленки жидкости на носителе;  $D_1$  — эффективный коэффициент диффузии сорбата в неподвижной фазе,  $V^0$  — объем газа в колонке.

Последнее уравнение в какой-то степени условно, поскольку однородной пленки неподвижной фазы на носителе быть не может.

Учитывая два последних уравнения, определим зависимость сопротивления массопередаче в неподвижной фазе от двух факторов: количества неподвижной фазы на носителе  $w_l$  и ее природы. Эмпирически определенная зависимость [3] сопротивления массопередаче неподвижной фазы  $c_{ж}$  от ее количества на диатомитовом носителе изображена на рис. 2. Скорость массопередачи  $C$  из уравнения (22) представляет собой сумму сопротивления массопередаче в газовой и жидкой фазах. Массопередача в газовой фазе не зависит от свойств неподвижной фазы и поэтому нами не будет рассматриваться. Чем меньше величина  $c_{ж}$ , тем более эффективна колонка; следовательно, для создания эффективной колонки следует применять неподвижные фазы с минимальной величиной  $c_{ж}$ . Графики рис. 2 показывают, что минимальные значения  $c_{ж}$  наблюдаются для сорбентов, которые содержат 10—15% неподвижной фазы на твердом носителе. Эта цифра характерна для наиболее широко используемых белых диатомитовых носителей; если же применяют тяжелые сильно кальцинированные носители с невысокой удельной поверхностью и большой насыпной массой, то оптимальное количество неподвижной фазы составляет для них 5—7%. Выпускаются и специальные носители для препаративной хроматографии (например, хромсорб А), которые эффективно работают и при нанесении на них 30% неподвижной фазы.

Снижение вязкости неподвижной фазы должно способствовать уменьшению сопротивления массопередаче в жидкости и, следовательно, эффективность колонки должна возрастать по мере снижения вязкости неподвижной фазы. С этой точки зрения повышение температуры колонки способствует снижению вязкости неподвижной фазы и обеспечивает таким образом большую эффективность колонки. Действительно, при использовании полярных неподвижных фаз наблюдается некоторое снижение ВЭТТ при повышении температуры колонки. Для не-

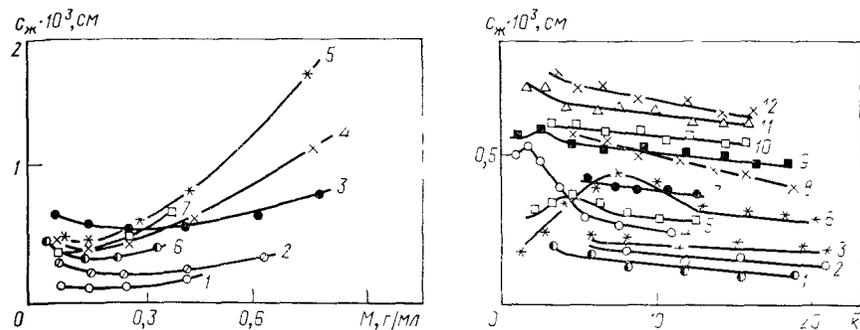


Рис. 2. Зависимость коэффициента сопротивления массопередаче в жидкости  $c_{ж}$  от количества неподвижной фазы на носителе  $M$  (г/мл носителя): 1 — полиэтиленгликоль-400, 2 — динитриладидинат; 3 — пентадекан; 4 — деканол-1, 5 — динитрилсебацинат, 6 — триэтиленгликоль; 7 — 1-бромнафталин

Рис. 3. Зависимость коэффициента сопротивления массопередаче в жидкости от коэффициента емкости колонки  $k$ :

1 — трикрезилфосфат, 2 — трибутилфосфат, 3 — оксидипропионитрил; 4 — сквалан, 5 — полиэтиленгликоль-400, 6 — пентадекан, 7 — деканол-1, 8 — триэтиленгликольбутират, 9 — динитриладидинат; 10 — 1,3-диметилнафталин, 11 — 1-бромнафталин, 12 — триэтиленгликоль.

полярных и малополярных неподвижных фаз подобные эффекты отсутствуют. Однако вряд ли следует рекомендовать повышать температуру колонки для достижения ее лучшей эффективности. При повышении температуры колонки, как правило, ухудшается избирательность, а, кроме того, увеличивается давление пара неподвижной фазы в колонке. Если же имеется несколько неподвижных фаз с одинаковой избирательностью и термостойкостью, целесообразно выбирать неподвижную фазу с минимальной вязкостью.

На рис. 3 приведена зависимость сопротивления массопередаче в неподвижной фазе от коэффициента емкости колонки  $k$  для 12 неподвижных фаз различной природы. График имеет экспоненциальный характер, поэтому целесообразно сравнивать эффективность неподвижных фаз при достаточно больших коэффициентах емкости. Неподвижные фазы, обладающие нерегулярной структурой жидкости, обеспечивают минимальное значение сопротивления массопередаче. Например, трикрезилфосфат, трибутилфосфат и сквалан, молекулы которых не обладают плоской структурой и не имеют специфических активных центров, имеют минимальные значения сопротивления массопередаче из испытанных жидкостей. И, наоборот, плоские молекулы диметилнафталина, бромнафталина, а также триэтиленгликоля, образующие друг с другом водородные связи, обеспечивают максимальное значение сопротивления массопередаче. Плоские молекулы могут быть упакованы в жидкости с достаточно большой плотностью, поэтому неподвижные фазы, молекулы которых содержат ароматические фрагменты, обладают,

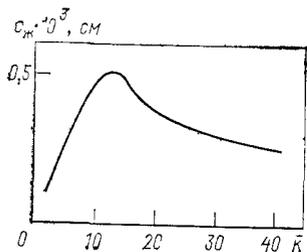


Рис. 4 Зависимость коэффициента сопротивления массопередаче в жидкости  $c_{ж}$  от коэффициента емкости колонки  $\bar{k}$ .

как правило, меньшей эффективностью по сравнению с чисто алифатическими неподвижными фазами такой же полярности. Например, эффективность колонок, приготовленных с метилсиликоновой неподвижной фазой, обычно выше, чем колонок с метилфенилсиликонами. Если же неподвижная фаза представляет собой молекулы, обладающие какими-либо активными центрами, например, способными образовывать водородную связь, в жидкости создается трехмерная жесткая структура, препятствующая свободному передвижению молекул сорбата. С этой точки зрения нецелесообразно использовать неподвижные фазы типа полиспиртов.

Эффективность колонки определяется не только свойствами неподвижной фазы, но и межмолекулярным взаимодействием сорбата с неподвижной фазой. Взаимосвязь между сопротивлением массопередаче и коэффициентом емкости выражается кривой с максимумом (рис. 4). Наиболее заметные колебания сопротивления массопередаче приходятся на значения коэффициентов емкости до 20; при более высоких значениях этого параметра сопротивление массопередаче снижается незначительно с ростом коэффициента распределения. Отсюда вытекает одно из основных требований к неподвижной фазе для обеспечения эффективного разделения смесей: коэффициенты емкости трудноразделяемых веществ должны быть выше 20 и, следовательно, неподвижная фаза должна достаточно хорошо растворять компоненты смеси. Это требование необходимо учитывать наряду с избирательностью неподвижной фазы, ибо избирательность не связана с абсолютным значением коэффициента распределения.

Приведенные выше соображения о зависимости сопротивления массопередаче в неподвижной фазе от ее свойств и растворимости в ней сорбатов справедливы для случая хорошей смачиваемости поверхности носителя неподвижной фазой. Если же неподвижная фаза образует на поверхности носителя отдельные капельки и при этом остается непокрытой часть поверхности, эффективность такой колонки резко падает. Примером могут служить колонки, приготовленные на основе тефлонового носителя, который плохо смачивается большинством неподвижных фаз.

Перфторированные неподвижные фазы плохо смачивают диатомитовые носители: как правило эффективность колонок с такими неподвижными фазами не превышает 300 т. т на 1 м. В работе [4] были исследованы различные методы приготовления носителя с поли(перфторалкильным) эфиром.

Показано, что при использовании инертных белых носителей типа хромосорба W и газ-хром Q не удается приготовить колонки с эффективностью, большей 300 т. т. на 1 м. Такие же результаты были получены и для силанизированного хромосорба P. Лишь при силанизации приготовленного на основе хромосорба P сорбента (путем впрыскивания силанизирующего агента в колонку при высокой температуре) удалось получить колонку с однородной пленкой неподвижной фазы, эффективность которой составляла от 2000 до 2500 т. т. на 1 м. Более того, оказалось, что ВТП этой неподвижной фазы зависит не от температуры начала ее разложения, а от температуры, при которой разрушается пленка неподвижной фазы на поверхности носителя, образуются капельки жидкости, тогда эффективность колонки резко падает. Найдено, что для сорбента, содержащего 3% указанной неподвижной фазы, ВТП составляет 200 °С, а для сорбента с 10% жидкости — уже 255 °С.

Как правило, диатомитовые носители хорошо смачиваются подавляющим большинством неподвижных фаз и проблемы смачиваемости актуальны прежде всего для капиллярной хроматографии. В современной капиллярной хроматографии в качестве материала для колонок используют стекло или кварц, что обеспечивает инертность поверхности колонки. Однако эти материалы хорошо смачиваются только неполярными и малополярными неподвижными фазами. Даже при нанесении на стеклянные капиллярные колонки фенилсиликоновых неподвижных фаз наблюдается падение эффективности колонки вследствие плохого смачивания поверхности капилляра неподвижной фазой. Для повышения смачиваемости поверхности стекла приходится обрабатывать его некоторыми реагентами, создающими промежуточный, химически связанный с поверхностью стекла слой, на который и наносят полярную неподвижную фазу. Плохая смачиваемость поверхности стекла органическими неподвижными фазами проявляется и в том, что при достаточно высоких температурах (выше 260 °С) неподвижная фаза собирается в капли, что резко понижает эффективность стеклянной капиллярной колонки.

Характер поверхности диатомитового носителя также небезразличен для создания высокоэффективных колонок. Например, при использовании неполярных неподвижных фаз наиболее эффективные колонки получаются на носителях типа огнеупорного кирпича, которые имеют большой объем пор небольшого диаметра, чем диатомитовые белые носители. Силанизация поверхности диатомитовых носителей, равно как и их кальцинирование, приводящее к снижению поверхности, уменьшают эффективность колонки. Следовательно, при выборе неподвижной фазы необходимо учитывать факторы, снижающие сопротивление массопередаче, а также смачивание поверхности носителя неподвижной фазой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kason J., Miller W. T. — J. Org. Chem., 1959, v. 24, N 8, p. 1814—1821.
2. Джеррард В., Хаукес С., Муни Э. В сб.: «Газовая хроматография», М., Мир, 1964, с. 267—278.
3. Король А. Н. Неподвижная фаза в газо-жидкостной хроматографии. Киев, Наукова думка, 1969, 250 с.
4. Dhaneer S. C., Poole C. F. — Anal. Chem., 1983, v. 55, N 9, p. 1462—1465.

### Глава 3

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК УДЕРЖИВАНИЯ

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПОДВИЖНОЙ ФАЗЫ НА ТВЕРДОМ НОСИТЕЛЕ И СТЕНКАХ КАПИЛЛЯРНОЙ КОЛОНКИ

Обычно используемые в ГЖХ твердые диатомитовые носители имеют умеренно развитую поверхность (1—2 м<sup>2</sup>/г), которая хорошо смачивается неподвижными фазами различной природы; сорбенты можно приготавливать различными способами. Фронтальные методы приготовления сорбента состоят в пропускании раствора неподвижной фазы через слой носителя, который расположен или на стеклянном фильтре, или непосредственно в колонке. Количество нанесенной на носитель неподвижной фазы рассчитывают как разность концентрации неподвижной фазы в исходном и в прошедшем через носитель растворе. При изменении концентрации раствора неподвижной фазы меняется количество неподвижной фазы, остающееся на носителе. Эти методы не нашли широкого распространения ввиду необходимости определения концентрации неподвижной фазы в растворе и вследствие сложной зависимости между концентрацией неподвижной фазы в растворе и ее количеством, остающимся на носителе.

Описаны экспресс-методы приготовления сорбентов для насадочных колонок. Например, носитель вместе с раствором неподвижной фазы в летучем растворителе помещают на фильтр Шотта и пропускают через этот фильтр поток нагретого воздуха. Иногда рекомендуется использовать вакуумную сушку сорбента после нанесения на него неподвижной фазы.

Наибольшее распространение получил самый простой метод приготовления сорбента путем постепенного испарения летучего растворителя из раствора неподвижной фазы, нанесенного на носитель. Взвешенное количество неподвижной фазы помещают в фарфоровую чашку и растворяют в подходящем растворителе. В раствор неподвижной фазы засыпают отмеренное количество носителя, при этом слой раствора должен быть на 5—10 мм выше слоя носителя. Носитель должен быть покрыт слоем раствора не менее полчаса; испарение растворите-

ля лучше всего проводить при комнатной температуре. Когда слой раствора над носителем исчезнет, целесообразно смочить растворителем боковые стенки чашки, на которых может оставаться некоторое количество неподвижной фазы. После исчезновения мениска раствора над носителем необходимо время от времени осторожно перемешивать сорбент шпателем. Сорбент считается приготовленным, когда он внешне выглядит сухим и исчезает запах растворителя.

Свежеприготовленный сорбент засыпают в колонку и подвергают тепловому кондиционированию в потоке инертного газа; при этом удаляются остатки летучего растворителя и летучие примеси, содержащиеся в неподвижной фазе. Кондиционирование проводят при максимально допустимой температуре использования данной неподвижной фазы в течение не менее 10 ч для мономерных и 20 ч для полимерных неподвижных фаз. После кондиционирования фон неподвижной фазы существенно снижается. Тренировку свежеприготовленной колонки целесообразно начинать с температуры 50 °С и затем программировать температуру колонки со скоростью 2—4 °С/мин до максимальной рекомендуемой ВТП.

Приготовление капиллярных колонок требует от экспериментатора гораздо большего мастерства, поэтому, если имеется возможность, целесообразно использовать капиллярные колонки, на которые уже нанесена неподвижная фаза в специализированной организации. Неподвижная фаза может быть нанесена на стенки капиллярной колонки динамическим или статическим способами. При нанесении динамическим способом 2—3 спирали колонки заполняют раствором неподвижной фазы в летучем растворителе и продавливают раствор через колонку. Эту операцию повторяют 2—3 раза, после чего колонку сушат в токе газа при повышенной температуре. На равномерность покрытия колонки и количество нанесенной неподвижной фазы оказывает влияние скорость газа при сушке и концентрация раствора неподвижной фазы в летучем растворителе. При таком методе нанесения неподвижной фазы трудно избежать появления неоднородностей в толщине пленки по длине колонки, так как неподвижная фаза может стекать к более низко расположенным участкам колонки. Только опытные экспериментаторы добиваются успеха при использовании подобных методов.

Большей однородности покрытия стенок стеклянного капилляра неподвижной фазой можно достичь, вытесняя раствор неподвижной фазы из колонки небольшим столбиком ртути; при этом на поверхности стекла остается лишь физически адсорбированный слой неподвижной фазы.

Статический способ состоит в заполнении стеклянного капилляра раствором неподвижной фазы в летучем растворителе заданной концентрации и в последующем испарении растворителя из колонки при повышенной температуре. Один из концов колонки при этом запаивают. Для получения высокоэффектив-

ных колонок необходимо соблюдать режим заполнения колонки и испарения растворителя, особое внимание необходимо уделять постоянству температуры при испарении растворителя. Можно протягивать колонку через нагретую печь, такая печь должна иметь форму и размеры витка спирали колонки. Статический способ дает возможность определить количество неподвижной фазы в колонке, однако не гарантирует однородности пленки и ее оптимальной толщины для обеспечения максимальной эффективности колонки. В общем, судя по литературным данным, динамический и статический способы примерно равноценны, однако, в отличие от насадочных колонок, приготовление капиллярных колонок требует определенного опыта работы и при этом не всегда можно приготовить колонку одного и того же высокого качества. Как правило, воспроизводимые по свойствам колонки можно приготовить лишь в одной лаборатории.

#### СОРБЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОНКЕ

Удерживание разделяемого вещества на сорбенте происходит как за счет растворения в массе неподвижной фазы, так и за счет адсорбции на двух поверхностях раздела фаз: жидкость — газ и поверхность твердого носителя — жидкость. Теоретически возможно также наличие поверхности раздела твердый носитель — газ, однако для хорошо смачиваемых носителей наличие такой поверхности при количестве неподвижной фазы более 0,5% от массы носителя маловероятно. Таким образом, наблюдаемый в реальных условиях объем удерживания компонента зависит от объема неподвижной фазы  $V_l$ , коэффициента распределения жидкость — газ  $K$ , адсорбции на поверхностях раздела жидкость — газ  $g_l$  с площадью  $S_{gl}$  и жидкость — твердый носитель  $s_l$ :

$$V_N = KV_l + K_{gl}S_{gl} + K_{sl}S_{sl} \quad (24)$$

Если колонка работает в области Генри, все коэффициенты распределения не зависят от давления пара сорбата (линейная хроматография). При наличии зависимости коэффициента распределения от давления пара сорбата реализуется вариант нелинейной хроматографии и в этом случае объем удерживания зависит от размера пробы компонента. Влияние адсорбционных процессов на объем удерживания определяется разностью поляриностей неподвижной фазы и молекул сорбата, количеством неподвижной фазы на носителе, чистотой неподвижной фазы, природой носителя и другими факторами. В этом разделе мы рассмотрим подобные нетривиальные факторы, их роль в практической ГЖХ и способы устранения нежелательных эффектов, снижающих воспроизводимость характеристик удерживания.

Остановимся сначала на влиянии поверхности твердого носителя на свойства нанесенной на нее неподвижной фазы. При добавлении к белому диатомитовому носителю 0,2—0,3% неподвижной фазы вся поверхность носителя покрывается слоем жидкости. Для образования подобного же монослоя неподвижной фазы на розовых носителях, обладающих большей поверхностью, необходимо нанести 0,5% жидкости. При дальнейшем добавлении неподвижной фазы к носителю параллельно происходят два процесса: увеличивается толщина адсорбированного слоя жидкости и заполняются поры носителя. Жидкость, заполняющую поры носителя, называют капиллярной и ее параметры практически адекватны характеристикам чистой жидкости. На свойства жидкости в адсорбированном слое влияет природа поверхности твердого носителя, которая проявляется лишь на сравнительно небольших расстояниях — не более 5 монослоев неподвижной фазы. Например, плотность адсорбированного слоя жидкости выше такого же показателя для чистой жидкости, и что самое важное, коэффициенты распределения жидкость — газ различаются для чистой (капиллярной) и адсорбированной жидкости: коэффициент распределения ниже для адсорбированной жидкости, чем для капиллярной вследствие энтропийного эффекта. Последний проявляется вследствие большей плотности адсорбированного слоя жидкости и, соответственно, большего ограничения передвижения и вращения молекул сорбата в плотной среде. При 10—15% неподвижной фазы, нанесенной на носитель, растворимость в адсорбированном слое жидкости может изменить объем удерживания от 5 до 10%. Особенно велико влияние адсорбированного слоя жидкости на значения объема удерживания при использовании колонок с небольшим количеством неподвижной фазы на носителе (менее 5%). Однако для относительных характеристик удерживания влияние адсорбированного слоя жидкости на данные удерживания падает вследствие эффекта конденсации.

Один из первых основных постулатов ГЖХ заключался в том, что объем удерживания (коэффициент распределения) не зависит от величины пробы, т. е. разделение происходит в области Генри. Если ограничиться только растворимостью в жидкости, то необходимо, чтобы коэффициент распределения жидкость — газ  $K$  не зависел от концентрации раствора. Действительно, для большинства газохроматографических систем закон Генри справедлив вплоть до мольной доли 0,01. При более высоких концентрациях раствора коэффициент распределения изменяется, причем изотерма растворения имеет антилэнгмюровскую форму: чем больше концентрация раствора, тем больше коэффициент распределения и, соответственно, объем удерживания. При вводе больших проб жидкости в дозатор хроматографа концентрация раствора в начале колонки достигает мольной доли 0,2, что отражается на значении экспериментально определяемого объема удерживания. Зависимость коэффициента

распределения от мольной доли сорбата в растворе может быть представлена уравнением Кричевского:

$$RT \ln K' = RT \ln K^\infty - A_1 x (2 - x) \quad (25)$$

где  $K'$  — коэффициент распределения, равный частному от деления давления пара сорбата над раствором (в гПа) на его мольную долю в растворе ( $x$ ); индекс  $\infty$  относится к бесконечно разбавленному раствору.

В ГЖХ используют коэффициент распределения, представляющий собой отношение объемных концентраций сорбата в жидкой и газовой фазах. Подставляя в последнее уравнение хроматографический коэффициент распределения, получим:

$$RT \ln K = RT \ln K^\infty + A_2 x (2 - x) \quad (26)$$

В соответствии с этим уравнением коэффициент распределения увеличивается по мере возрастания мольной доли сорбата в растворе. В практической ГЖХ такое явление наблюдается в виде «язычков» пиков, т. е. диффузной передней границы пика.

Кроме того, как это видно из данных табл. 1.6, полярность молекул сорбата и неподвижной фазы существенно влияет на концентрационный эффект  $A_2$ . На неполярной неподвижной фазе — сквалане — максимальный концентрационный коэффициент наблюдается для самого полярного сорбата (ацетон), в то время как на полярном оксидипропионитриле наибольшее значение  $A_2$  зафиксировано для бензола, молекула которого обладает минимальной полярностью из сравниваемых соединений. Следовательно, концентрационный коэффициент пропорционален разности полярностей неподвижной фазы и сорбата, т. е. степени неидеальности образующегося в газохроматографической колонке раствора. В работе [21] определены также концентрационные коэффициенты для алифатических спиртов в оксидипропионитриле. Гидроксильная группа спирта образует водородную связь с полярными группами оксидипропионитрила, энергия взаимодействия метильных и метиленовых групп с молекулой оксидипропионитрила меньше, чем энергия водородной связи. Следовательно, наиболее эффективное взаимодействие сорбата и неподвижной фазы наблюдается лишь в случае минимальных стерических препятствий для образования водородных связей.

Таблица 1.6. Относительные значения концентрационного коэффициента  $A_2$  на двух неподвижных фазах с предельными значениями фактора полярности (стандарт — бензол, температура 50 °C) [21]

Сорбат	Сквалан	Оксидипропионитрил	Сорбат	Сквалан	Оксидипропионитрил
Дихлорэтан	2,0	0,38	Метилэтилкетон	2,8	0,2
Этилацетат	3,6	0,5	Ацетон	17,5	0,04

Примечание. Данные измерены на колонках, заполненных хроматоном L AW HMDs, на который нанесено 10% неподвижной фазы Сквалан — неполярная неподвижная фаза, значение «полярности» для этого вещества по шкалам Роршнайдера и Мак Рей нольдса равно нулю, для оксидипропионитрила «полярность» оценивается как 100.

Уменьшение энергии взаимодействия повышает коэффициент активности и, соответственно, степень неидеальности раствора. Действительно, по мере роста  $n$ -алкильного радикала в молекуле спирта концентрационный коэффициент повышается вследствие увеличения стерических препятствий для образования водородной связи. Для изомерных спиртов наблюдается также зависимость концентрационного коэффициента от степени экранирования гидроксильной группы: наименьшее значение концентрационного коэффициента наблюдается для первичного спирта, затем эта величина возрастает по ряду: *изо*-, *втор*- и *трет*-спирт.

Таким образом, при оценке избирательности неподвижных фаз по величинам удерживания необходимо стремиться к тому, чтобы эксперимент включал в себя достаточно достоверные данные и работать с минимальной пробой во избежание проявления концентрационных эффектов.

И, наконец, необходимо остановиться на вопросе, действительно ли объем удерживания в ГЖХ не должен зависеть от размера пробы, если рассматривать только процесс распределения жидкость — газ. Коэффициент распределения, называемый коэффициентом Генри, действительно не зависит от концентрации раствора для достаточно малых концентраций. Однако коэффициент Генри имеет размерность, отличную от размерности коэффициента распределения, связанного с объемом удерживания в ГЖХ: коэффициент Генри выражается как соотношение давления пара в гПа к мольной доле сорбата в растворе. Соотношение между этими коэффициентами распределения выражается уравнением:

$$K = \frac{n_l + n_x}{n_l M_l / (M_x + n_x)} \cdot \frac{RT\rho}{K'} \quad (27)$$

где  $n_l$  и  $n_x$  — число молей неподвижной фазы и сорбата в растворе;  $\rho$  — плотность раствора.

Молекулярная масса неподвижной фазы гораздо выше соответствующей характеристики сорбата и поэтому в таких условиях справедливо соотношение

$$(n_l + n_x) \ll n_l M_l / (M_x + n_x)$$

и когда концентрация сорбата в растворе ( $n_x$ ) повышается, член  $(n_x + n_l) / [n_l M_l / (M_x + n_x)]$  возрастает также. Тогда ясно, что даже если эксперимент проводится в области Генри, т. е. коэффициент Генри постоянен, хроматографический коэффициент распределения зависит от концентрации и соответствующая зависимость присуща объему удерживания.

В ГЖХ обычно используют два вида диатомитовых носителей — розовые и белые; розовые носители изготавливают на базе огнеупорного кирпича. В состав розовых носителей входит некоторое количество оксидов алюминия и железа, обладающих значительной адсорбционной активностью, поэтому розовые но-

сители обычно используют для разделения неполярных и малополярных соединений. К подобным носителям относят хромосорб Р, хезасорб, носители типа ИНЗ-500 и ИНЗ-600. Для приготовления более инертных носителей используют природные диатомиты, которые почти исключительно состоят из диоксида кремния. Процесс синтеза белого носителя включает кальцинирование (сплавление со щелочными добавками), при этом поверхность носителя частично остекловывается. В зависимости от технологии кальцинирования получают легкие или тяжелые носители с разной удельной поверхностью. Легкие белые диатомитовые носители имеют поверхность около 1 м<sup>2</sup>/г, тяжелые — 0,5 м<sup>2</sup>/г, однако насыпная плотность тяжелых белых носителей гораздо выше, чем легких. К легким белым носителям относят хромосорб W, хроматон N, к тяжелым — хромосорб G, инертон N. В зависимости от процедуры обработки этих носителей силанизирующими добавками к названию носителя прибавляют буквы, указывающие на технологию обработки.

Вклад отдельных сорбционных процессов в объем удерживания некоторых сорбатов при использовании полярной неподвижной фазы — тиодипропионитрила — показан в табл. I.7 [1]. Из данных этой таблицы видно, что при переходе от розового к белому носителю вклад адсорбции на носителе в объем удерживания уменьшается в 2,5—3 раза. Влияние носителя на величины удерживания сорбатов различной природы иллюстрируется на примере сравнения 7 различных типов белых носителей, на которые нанесено одно и то же количество сквалана (табл. I.8) [2]. В качестве стандартного сорбента выбран силанизированный хромосорб G со скваланом: в табл. I.8 приведены значения индекса удерживания сорбатов по сравнению с их индексами удерживания на стандартном сорбенте; приведенные инкременты показывают непосредственно влияние носителя на удерживание различных сорбатов. Положительное значение инкремента указывает на больший адсорбционный потенциал

Таблица I.7. Вклад (в %) адсорбционных процессов в объем удерживания (неподвижная фаза — тиодипропионитрил)

Сорбат	Адсорбция на границе жидкость — твердый носитель		Адсорбция на границе жидкость — газ	
	розовый носитель	белый носитель	розовый носитель	белый носитель
n-Гептан	8,3	3,8	66,7	41,7
2,2,4-Триметилпентан	2,7	1,3	79,4	52,1
Циклогексан	8,0	2,7	25,7	10,3
Бензол	6,2	2,1	1,7	0,6
Этилацетат	10,6	3,4	15,1	5,6
Апетон	10,3	3,6	4,5	1,15
Пропиональ	5,9	2,5	4,2	1,4

Примечание. Тиодипропионитрил нанесен на огнеупорный кирпич (розовый носитель) и на хромосорб W (белый носитель) в количестве 8,8% от массы носителя

Таблица I.8. Разность индексов Ковача сорбатов-тестов на различных носителях и тех же величин, измеренных на сорбенте, приготовленном при использовании силанизированного хромосорба G

Носитель	1	2	3	4	5	6
Хромосорб W	45,3	105,1	-0,8	55,7	24,7	11,8
Микросорб	26,6	87,0	0,6	24,7	16,5	6,5
Целит	18,5	68,6	0,5	18,5	10,3	4,6
Анахром	4,5	20,0	0,3	1,4	2,6	0,1
Хромосорб G	3,9	19,5	0,4	1,5	2,7	0,3
Газ-хром Q	2,2	9,0	0,3	-0,6	-0,8	0,2
Хромосорб G силанизированный	0	0	0	0	0	0

Сорбаты: 1 — гексанол 2, 2 — пентанол 1, 3 — хлорбензол, 4 — 2 метилгептанол 2, 5 — бензонитрил; 6 — нитробензол

данного носителя по сравнению с силанизированным хромосорбом G. Наиболее высокой адсорбционной активностью по отношению к полярным сорбатам обладает необработанный хромосорб W, несколько меньшую активность имеют микросорб и целит, которые получены термообработкой диатомитового сырья. Группа силанизированных (стандарт и газ-хром Q) носителей, равно как и сильно кальцинированный носитель хромосорб G, обладают близкой адсорбционной активностью к полярным сорбатам. По малополярному сорбату — хлорбензолу — не наблюдаются заметных отклонений в избирательности сравниваемых колонок. Особенно перспективны носители, приготовленные путем специальной термической обработки с силанизацией по специальной технологии (носители типа хроматон N супер, хромосорба НР и 750). Эти носители следует применять при разделении смесей, в состав которых входят полярные компоненты или соединения, способные образовывать водородную связь или вступать в какие-либо специфические взаимодействия с поверхностью носителя (например, соединения типа пероксидов и гидропероксидов).

Сорбаты можно классифицировать по их адсорбционной активности на поверхности диатомитовых носителей. В порядке убывания адсорбционной активности они располагаются в такой ряд: n-спирты, карбонильные соединения, нитрилы, нитросоединения, эфиры, хлорзамещенные углеводороды, олефины, парафины. Экранирование полярной функциональной группы в молекуле сорбата снижает адсорбционную активность этого вещества на диатомитовом носителе. n-Спирты, пожалуй, служат наиболее чувствительными тестами для оценки адсорбционной активности носителей по отношению к способности образования водородной связи. Поскольку наиболее популярным методом деактивации поверхности носителя является силанизирование, использование в качестве сорбатов-тестов спиртов позволяет оценить эффективность этой процедуры. Однако не следует за-

Таблица 1.9. Относительное удерживание сорбатов на сорбентах, содержащих 30% сквалана (стандарт — *n*-октан)

Сорбат	1	2	3	4	5	6
Ацетон	0,057	0,100	0,110	0,692	0,053	0,055
Метилэтилкетон	0,143	0,173	0,183	0,179	0,118	0,127
Этанол	0,040	0,130	0,106	0,089	0,036	0,035
Изопропанол	0,067	0,110	0,114	0,698	0,057	0,056
<i>n</i> -Гексан	0,211	0,217	0,217	0,217	0,212	0,216
<i>n</i> -Гептан	—	0,466	0,467	0,470	0,462	0,464
<i>n</i> -Нонан	—	2,11	2,12	2,07	2,11	2,12
2,2,4-Триметил-пентан	—	0,459	0,463	0,449	0,448	0,451
Циклогексан	0,373	0,381	0,383	0,376	0,380	0,380
Бензол	0,346	0,315	0,322	0,320	0,313	0,324
Толуол	0,814	0,720	0,727	0,721	0,715	0,720
Диоксан	0,350	0,440	0,394	0,642	0,315	0,320

Носители 1 — целит, 2 — целит-545, 3 — силанизированный хромосорб W, 4 — хромосорб W, 5 — хромосорб W, пропитанный 0,1% полиэтиленгликоля-600, 6 — силанизированный хромосорб W, покрытый 0,1% полиэтиленгликоля-600. Сорбенты 2—4 были предварительно обработаны пиридином, сорбент 1 содержит 0,5% детергента.

Примечание. Данные взяты из: 1. Purnell J. H. In: «Gas Chromatography 1962»/Ed. by van Swaay M., London, Butterworth, 1962; p. 13—25, 2—6. Видергауз М. С., Измайлов Р. И. Применение газовой хроматографии для определения физико-химических свойств веществ. М., Наука, 1970, 160 с.

бывать, что образование водородной связи не служит единственным параметром оценки адсорбционной активности носителя. Носитель может иметь активные адсорбционные центры, которые взаимодействуют с полярными функциональными группами сорбата; на поверхности носителя также могут находиться активные центры, ответственные за термическое разложение неподвижной фазы.

Природа поверхности носителя оказывает различное влияние на отдельные классы химических соединений. Удерживание неполярных сорбатов типа парафинов не зависит, в первом приближении, от способа обработки поверхности носителя; на это указывают данные табл. 1.9, в которой приведены относительные удерживания для сорбентов, приготовленных на основе белых диатомитовых носителей.

Следовательно, природа носителя по крайней мере при использовании неполярных и малополярных неподвижных фаз, играет весьма существенную роль при практическом определении избирательности неподвижной фазы. Природа носителя должна учитываться при измерении показателей селективности неподвижной фазы, молекулы которой не обладают высокими показателями полярности или способностями к образованию специфических связей; такие неподвижные фазы не могут блокировать активные участки поверхности твердого носителя.

Влияние природы носителя на удерживание различных сорбатов при использовании полярной неподвижной фазы — полиэтиленгликоля-400 — показано в табл. 1.10. В этой таблице также приведены инкременты индексов Ковача, силанизированный

Таблица 1.10. Разность индексов Ковача сорбатов-тестов на различных носителях и тех же величин, измеренных на сорбенте, приготовленном при использовании силанизированного хромосорба G

Носитель	1	2	3	4	5	6
Хромосорб P	68,0	79,7	84,7	75,3	120,8	132,2
Огнеупорный кирпич С-22	64,7	77,5	80,1	73,9	115,8	125,4
Хромосорб W	39,3	40,1	43,5	42,1	64,6	72,0
Целит	16,4	18,0	21,3	21,2	33,2	37,6
Хромосорб G	7,4	8,8	9,4	9,9	15,7	18,8
Анахром	8,5	9,5	6,3	10,3	12,2	5,8
Газ-хром	4,6	5,4	4,1	4,2	6,7	6,5

Примечание. Сорбаты — см. табл. 1.8. На все указанные в таблице носители в качестве неподвижной фазы было нанесено одинаковое количество полиэтиленгликоля-400.

хромосорб G принят за стандарт. По-видимому, для трактовки приведенных в этой таблице экспериментальных данных необходимо привлекать эффекты адсорбции на границе раздела газ—жидкость. Судя по опыту газохроматографической работы, при использовании полярных неподвижных фаз природа носителя лишь в незначительной степени влияет на величины удерживания, поскольку тяжелые молекулы полярной неподвижной фазы блокируют активные полярные адсорбционные центры на поверхности носителя. Следовательно, адсорбция на границе раздела жидкость — твердый носитель существенно влияет на величины удерживания лишь для систем полярный сорбат — неполярная неподвижная фаза.

Если адсорбция на границе раздела жидкость — твердый носитель влияет на величины удерживания, то возникает проблема воспроизводимости свойств твердого носителя, так как от этого зависит адсорбция на границе раздела жидкость — твердый носитель. Невоспроизводимость свойств носителя делает невозможным межлабораторное сравнение избирательности неподвижных фаз и ставит под сомнение достоверность данных по качественному анализу, проводимому на основе сравнения величин удерживания. С целью проверки этих положений были исследованы индексы удерживания ряда веществ при использовании сквалана, полиэтиленгликоля-400 и динонилфталата в ка-

Таблица 1.11. Максимальные отклонения индексов удерживания, наблюдаемые для хроматографических колонок, при приготовлении которых использованы три различных партии носителя — хромосорба G

Сорбат	Динонил-фталат	Поли-этиленгликоль-400	Сква-лан	Сорбат	Динонил-фталат	Поли-этиленгликоль-400	Сква-лан
Бензонитрил	0,8	4,3	1,2	Гексанол-2	1,2	1,9	0,3
Хлорбензол	0,7	1,5	0,9	Гексанон-2	0,6	1,3	0,7
Гексанол-1	0,2	2,6	0,6	Нитробензол	1,1	2,8	0,6

честве неподвижных фаз, нанесенных на три различные партии хромсорба G [3] (табл. I.11). Как видно из приведенных данных, отклонения индексов удерживания на сорбентах, приготовленных из диатомитов различных партий, находятся в большинстве случаев в пределах ошибки эксперимента — 1 ед. индекса Ковача. Это позволяет сделать вывод о том, что адсорбционные свойства выпускаемых промышленностью носителей достаточно воспроизводимы и величины удерживания в системах неполярная неподвижная фаза — полярный сорбат могут быть применены для межлабораторной характеристики избирательности неподвижных фаз и для качественного анализа.

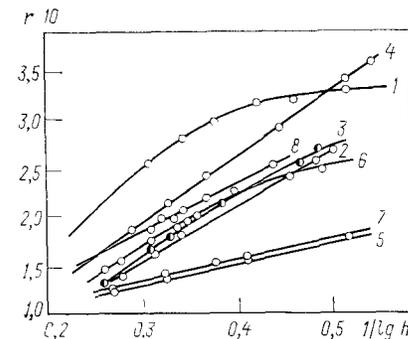
Диатомитовые носители получили наибольшее распространение в аналитической ГЖХ, однако встречаются отдельные публикации, в которых в качестве идеальных предлагаются тефлон и стеклянные шарики. Тщательные измерения [3, 4] показали, что тефлон обладает заметной адсорбционной активностью, в частности, для углеводородов. Кроме того, тефлон плохо смачивается большинством неподвижных фаз, на его поверхности образуются капельки жидкости, что ухудшает эффективность колонки. Сравнение диатомитовых носителей и стеклянных шариков показало [5], что диатомитовые носители вносят меньший адсорбционный вклад в объем удерживания даже при разделении таких полярных соединений как спирты. Таким образом, представляется нецелесообразным использование тефлона и стеклянных шариков в качестве твердых носителей для ГЖХ.

Адсорбция на поверхности раздела неподвижная фаза — твердый носитель опасна не столько тем, что она изменяет величину удерживания, характеризующую равновесие жидкость — газ, сколько наличием заметной нелинейности изотермы адсорбции. Последний эффект обуславливает зависимость объема удерживания от величины пробы; наличие такой зависимости обезценивает объем удерживания как источник информации для качественного анализа и для характеристики избирательности неподвижной фазы.

Нелинейность изотермы адсорбции возникает как следствие неоднородности поверхности носителя: при малых заполнениях поверхности справедлив закон Генри (адсорбция происходит на наиболее активных и однородных адсорбционных центрах). По мере заполнения наиболее активных центров адсорбция переходит по менее активным центрам, рост степени покрытия поверхности носителя приводит к участию в адсорбции все менее и менее активных центров, вследствие чего общий адсорбционный потенциал поверхности снижается. Следовательно, задача выбора носителя с линейной изотермой адсорбции сводится к выбору материала с химически и геометрически однородной поверхностью. Геометрическая однородность поверхности носителя теоретически недостижима, поскольку носитель должен обладать определенной пористостью для размещения на нем не-

Рис. 5. Зависимость относительного удерживания *n*-пропанола от высоты пика на различных носителях, пропи- таных скваланом, стандарт — бен- зол:

1 — хроматон N AW, 2 — хроматон N AW DMCS (DMCS — диметилдихлорсилан), 3 — хроматон N AW ГМЦТС (ГМЦТС — гекса метилциклотрисилан), 4 — хроматон N AW HMDS (HMDS — гексадиметилсилан) 5 — хроматон N супер; 6 — хромосорб G AW DMCS; 7 — хроматон N AW, обра- ботанный ОМЦТС, DMCS, TMCS в соотно- шении 2 : 1 : 1 (ОМЦТС — октаметилтетра- силоксан, TMCS — триметилхлорсилан), 8 — хроматон N AW с силиконом ПМС 509



подвижной фазы. Однако практически влияние геометрической неоднородности носителей на криволинейность изотермы адсорбции пренебрежимо мало и поэтому основные усилия исследователей сводятся к созданию химически однородной поверхности носителя.

Как указывалось выше, адсорбция на границе раздела неподвижная фаза — твердый носитель проявляется наиболее отчетливо для систем неполярная неподвижная фаза — полярный сорбат, для них же наблюдаются эффекты нелинейности изотермы адсорбции. Поэтому гомогенность поверхности носителя обычно оценивают при нанесении на него неполярной фазы (сквалана) и при исследовании полярных сорбатов. Гомогенизация поверхности носителя может быть достигнута при нанесении на него монослоя полярной неподвижной фазы. При этом полярная жидкость блокирует активные адсорбционные центры на поверхности носителя. Однако при повышении температуры специфические силы, связывающие адсорбционные активные центры с молекулами модификатора, уменьшаются и эффективность модифицирования снижается. Это существенно снижает ценность физического модифицирования для гомогенизации поверхности носителя.

Попытки нанесения на поверхность диатомитового носителя термостойких материалов (тефлон, серебро, углерод и др.) не привели к созданию носителя с гомогенной поверхностью. Наиболее перспективной следует считать химическую модификацию поверхности. Основные усилия по химической модификации поверхности были направлены на устранение гидроксильных групп; для этой цели оптимальным способом обработки оказалась силианизация. Силианизация может быть осуществлена различными агентами; чаще всего для этой цели используют триметилхлорсилан, диметилдихлорсилан и гексаметилдисилазан. Триметилхлорсилан эффективно реагирует с гидроксильными группами на поверхности носителя при повышенной температуре, однако рядом расположенные (геминальные) гидроксильные группы не могут быть силианизированы триметилхлорсиланом вследствие стерических препятствий. С этой точки зре-

ния диметилдихлорсилан более эффективен, но после силанизации диметилдихлорсиланом на поверхности носителя могут оставаться группы, содержащие непрореагировавший атом хлора. Для устранения хлора обычно проводят обработку поверхности метанолом. Гексаметилдисилазан обладает примерно такой же эффективностью при силанизации, как и триметилхлорсилан.

Эффективность силанизации может быть проиллюстрирована на примере анализа удерживания *n*-пропанола на диатомитовом белом носителе с 5% сквалана (рис. 5).

Для характеристики гомогенности поверхности носителя использовали величину  $A^*$  [6]:

$$A^* = (r_{0,4} - r_{0,3})/r_{0,3} \quad (28)$$

где индексы при величинах относительного удерживания — значения  $1/igh$ ;  $h$  — высота пика (в мм) при шкале самописца  $10^{-11}$  А.

Величина  $A^*$  количественно выражает степень криволинейности изотермы сорбции: чем больше эта величина, тем менее гомогенна поверхность носителя. Значения  $A^*$  приведены в табл. I.12, кривые на рис. 5 более наглядно иллюстрируют зависимость относительного удерживания *n*-пропанола (стандарт — бензол) от высоты пика. Кривая 1 (несиланизированный носитель хроматон NAW) расположена выше всех кривых, что указывает на эффективность силанизации для устранения гидроксильных групп с поверхности носителя. Интересно отметить, что в области малых заполнений поверхности несиланизированного носителя прослеживается снижение зависимости относительного удерживания *n*-пропанола от высоты пика. Для силанизированных носителей такого изменения не наблюдается, что указывает на меньшую однородность поверхности силанизированных носителей. Действительно, появление на поверхности диатомитового носителя триметилсилильных групп, снижает однородность поверхности.

Таблица I.12. Значения криволинейности изотерм сорбции ( $A^*$ ) *n*-пропанола и метилэтилкетона на сорбентах, приготовленных на основе носителей, обработанных различными способами

Носитель	<i>n</i> -Пропанол	Метилэтилкетон
Хроматон N AW	3,55	1,70
Хроматон N AW DMCS	3,50	1,16
Хроматон N AW ГМЦТС	3,57	0,90
Хроматон N AW HMDS	3,68	1,50
Хроматон N супер	1,55	0,68
Хромосорб G AW DMCS	3,08	0,74
Хроматон N AW, обработанный ОМЦТС, DMCS, TMCS	1,55	0,60
Хроматон N AW с силиконом ПМС-500	2,69	1,60

Примечание. Данные измерены на колонках, заполненных перечисленными носителями, на которые наносилось 5% сквалана, температура опыта — 50 °С

Данные табл. I.12 и рис. 5 показывают неравноценность различных способов силанизации носителя: наиболее инертная поверхность носителя получена при обработке смесью силанизирующих агентов (7), по-видимому, так же синтезировался носитель хроматон N супер (5). Успех такого метода обработки объясняется не только исчерпывающим силанизированием гидроксильных групп, но и образованием полимерных пленок, закрывающих часть поверхности носителя. При этом экранируются также другие активные центры, могущие образовывать водородную связь (катионы металлов и др.). Однако даже на лучших образцах силанизированных носителей заметна нелинейность изотермы сорбции и, следовательно, силанизация не устраняет всех активных центров поверхности носителя.

Поскольку лишь часть поверхности диатомита покрыта гидроксильными группами, силанизация не может затронуть всей поверхности; в этом и состоит основной недостаток силанизации как метода обработки поверхности носителя. Действительно, если покрыть монослоем полиэтиленгликоля поверхность силанизированного диатомита, изотерма сорбции полярных сорбатов заметно выпрямляется [7]. Однако физическая модификация поверхности нецелесообразна ввиду небольшой термостойкости полученного таким образом носителя. Более перспективен способ термического модифицирования поверхности несиланизированного диатомитового носителя высокомолекулярным полиэтиленгликолем [8]. Согласно этой методике на диатомит наносится 0,2% полиэтиленгликоля с молекулярной массой 15—20 000, полученный сорбент тренируется 4 ч при 260 °С в атмосфере инертного газа. Полиэтиленгликоль при этом связывается с поверхностью и полученный носитель можно использовать при температуре до 260 °С; пленка модификатора не экстрагируется органическими растворителями. Если на такой носитель (назовем его модифицированным в отличие от силанизированного) нанести сквалан, то изотерма сорбции для большинства полярных сорбатов (исключая спирты) оказывается линейной, а данные, приведенные в табл. I.13, показывают гораздо большую инертность модифицированного носителя по сравнению с силанизированным: относительное удерживание большинства полярных сорбатов снижается на нем вследствие большей однородности поверхности (см. энтропийный фактор  $F^\circ$ ).

Таким образом, модифицирование поверхности диатомита полиэтиленгликолем позволяет получить оптимальный носитель для приготовления неполярных сорбентов. Преимущество такого носителя перед силанизированным состоит еще в отсутствии на нем эффекта самомодифицирования [9]. Этот эффект проявляется при наличии в анализируемой смеси нескольких полярных компонентов. Размытая задняя граница пика полярного компонента (хвост), выходящего первым, модифицирует поверхность носителя, вследствие чего время выхода следующего полярного компонента смеси изменяется. Таким образом, вре-

Таблица 1.13. Избирательность колонки со скваланом, нанесенным на модифицированный полиэтиленгликолем и на силанизированный носитель хроматон N супер

Сорбат	Модифицированный			Силанизированный			
	r	$\Delta H_s^\circ$	F <sup>o</sup>	r	$\Delta H_s^\circ$	F <sup>o</sup>	r [1]
n-Гексан	0,370	5,02	0,50	0,380	4,81	0,48	0,380
n-Октан	2,630	-5,02	-0,75	2,650	-5,02	0,67	2,635
n-Нонан	7,02	-9,20	0,09	7,09	-9,20	0,17	7,03
Гексен-1	0,308	6,27	1,17	0,332	5,85	0,93	0,318
Циклогексан	0,690	3,14	2,38	0,720	3,14	2,76	0,703
Бензол	0,550	4,81	3,47	0,572	5,22	4,51	0,556
Толуол	1,54	0	3,59	1,60	0,21	4,26	1,575
n-Ксилол	4,25	-4,60	4,26	4,320	-4,39	4,68	4,31
Хлороформ	0,311	6,06	-0,88	0,324	5,43	-0,09	—
1,2 Дихлорэтан	0,386	4,60	0,12	0,398	4,18	-0,33	—
Тетрахлорид углерода	0,574	4,81	3,80	0,607	4,81	4,26	—
Изоамилхлорид	0,916	1,67	2,22	0,930	1,67	2,34	—
Диизопропиловый эфир	0,307	3,55	-3,60	0,320	3,55	-3,26	—
Этилацетат	0,246	5,43	-2,38	0,257	5,22	-2,13	—
Метилэтилкетон	0,215	4,18	-5,48	0,231	6,90	-0,12	—
Пропанол-1	0,160	3,76	-8,65	0,153	8,36	-1,04	—

Примечание Стандарт n-пентан, стандартная температура 50 С на носитель нанесено 5% сквалана  
1 — *Hively R A, Hinton R E — J Gas Chromatogr, 1968 v 6 p 203—220*

мена выхода полярных компонентов при наличии эффекта самомодифицирования зависят от состава смеси. Поскольку модифицированный носитель обеспечивает линейность изотермы адсорбции для большинства полярных сорбатов, самомодифицирование на нем отсутствует. Недостатком модифицированного носителя является возможность его использования только для неполярных неподвижных фаз; даже для малополярных метилсиликоновых неподвижных фаз этот носитель уже оказывается непригодным. Следовательно, для малополярных и полярных неподвижных фаз оптимальным носителем служит силанизированный диатомит типа хроматона N супер, хромосорба НР.

Хотя адсорбционная способность стенок капиллярных колонок — нержавеющей стали, стекла и кварца — гораздо ниже, чем у диатомита, влиянием адсорбции на поверхности раздела неподвижная фаза — стенки капиллярной колонки нельзя пренебрегать при использовании неполярных и малополярных неподвижных фаз, поскольку жидкость в капиллярной колонке распределена по поверхности более тонким слоем, чем в насадочной. Это может быть проиллюстрировано данными табл. 1.14 [10], из которых видно, что изменение количества неполярной неподвижной фазы в колонке, изготовленной из нержавеющей стали, влияет даже на удерживание углеводородов. Нержавеющая сталь вообще не может считаться удовлетворительным материалом для изготовления капиллярных колонок; надежные и воспроизводимые результаты могут быть получены только на стеклянных или кварцевых капиллярных колонках. Од-

Таблица 1.14. Относительное удерживание углеводородов в зависимости от количества пердеитеросквалана в капиллярной колонке из нержавеющей стали (стандарт — n-пентан)

Сорбат	Относительное удерживание при различных значениях $1/\omega_L$				
	4,08	4,45	6,37	7,30	7,52
2,2-Диметилбутан	1,419	1,422	1,413	1,409	1,404
2,3-Диметилбутан	1,870	1,872	1,864	1,860	1,858
3-Метилпентан	2,166	2,166	2,158	2,155	2,152
n-Гексан	2,476	2,477	2,479	2,484	2,481
Метилциклопентан	3,238	3,238	3,234	3,232	3,227
Бензол	3,552	3,583	3,599	3,656	3,696
2,2,4-Триметилпентан	5,627	5,638	5,602	5,590	5,574

нако даже и на поверхности стекла имеются активные адсорбционные центры (следы бора, натрия, кальция, гидроксильные группы), которые служат причиной образования «хвостов» пиков полярных соединений и хемосорбции некоторых веществ [11—13]. Поэтому поверхность капиллярной колонки всегда подвергают предварительной обработке, при этом преследуют две цели: увеличение поверхности стекла травлением и устранение активных адсорбционных центров. Одна из проверенных практикой методик обработки стеклянных капилляров описана в работах [14, 15]. Сначала стеклянный капилляр промывают 20%-ным раствором хлороводородной кислоты, после чего колонку с кислотой запаивают с двух сторон и оставляют на ночь при температуре 140—180°C (для боросиликатного стекла используют более высокую температуру). На этой стадии происходит травление поверхности капилляра, что позволяет увеличить емкость колонки по неподвижной фазе. Затем колонку вскрывают, промывают 1M раствором хлороводородной кислоты, остатки кислоты вымывают из колонки водой; колонку высушивают при 140°C под вакуумом в течение 20 мин. После этого колонку обрабатывают смесью фенилхлорсилана, гексаметилдисилазана и n-пентана (1:1:2); 20% объема колонки заполняют этой смесью, жидкость продавливают до конца колонки, колонку вакуумируют 5 мин, запаивают и выдерживают 4—12 ч при 400°C. Один конец колонки вскрывают и 3 витка спирали заполняют толуолом, метанолом и эфиром. Растворители продавливают через колонку, после чего капилляр сушат. Силанизация стеклянной капиллярной колонки является необходимой процедурой для получения воспроизводимых, надежных данных удерживания.

В табл. 1.15 приведены относительные характеристики удерживания, определенные на двух колонках — насадочной и стеклянной капиллярной. Данные таблицы показывают, что имеются расхождения как величин относительного удерживания, так и термодинамических параметров избирательности на сравниваемых колонках. И только после силанизации стеклянной

Таблица 1.15. Характеристики удерживания сорбатов на насадочной и стеклянной капиллярной колонках

Сорбат	Насадочная колонка			Стеклянная капиллярная колонка			
	$\Delta H^{\circ}_s$	$r$	$F^{\circ}$	несиланизированная			силанизированная
				$\Delta H^{\circ}_s$	$r$	$F^{\circ}$	$r$
n-Гексан	0,75	0,631	-2,46	2,84	0,627	-1,29	—
n-Гептан	-3,14	1,521	-2,01	-2,50	1,517	-0,92	1,522
n-Октан	-7,19	3,383	-2,50	-4,68	3,375	1,84	—
Циклогексан	0	1,072	0,58	0,18	1,091	1,00	1,070
Метилциклогексан	-1,83	1,782	1,55	-2,60	1,845	0,50	—
n-Гептен-1	-3,16	1,393	-2,80	-2,63	1,390	-1,80	—
Толуол	-4,35	2,466	-0,18	-3,55	2,404	1,00	—
n-Ксилол	-7,27	5,30	1,10	-5,35	5,20	4,26	—
Тетрахлорид углерода	0,25	1,033	-0,71	0,50	1,052	-1,30	—
Хлороформ	1,09	0,649	-1,80	1,34	0,652	-1,17	0,647
1,2-Дихлорэтан	0,33	0,828	-0,96	1,34	0,817	-0,67	0,831
Метилэтилкетон	0,92	0,537	-3,51	1,76	0,558	-1,71	0,537

Примечание. Неподвижная фаза — OV-101; насадочная колонка заполнена хроматоном N супер с 8% неподвижной фазы; стеклянная капиллярная колонка (50 м) протравлена хлороводородной кислотой. Стандарт — бензол. Температура — 50 °C.  
Korol A. A., Solodchenko N. N., Ermakov A. A. — J. High Resolut. Chromatogr., Chem. Commun., 1983, т. 6, N 5, p. 279—281.

капиллярной колонки относительно удерживание некоторых сорбатов сравнялось на двух типах колонок.

Адсорбционные свойства поверхности раздела жидкость — стенка капиллярной колонки зависят не только от способа обработки стенок колонки, но и от чистоты неподвижной фазы, поскольку примеси из жидкости адсорбируются на границах раздела фаз, изменяя их свойства. Например, при использовании в качестве неподвижной фазы метилсиликоновой жидкости SF-96 (капиллярная колонка из пирекса) у спиртов наблюдались размытые задние границы пиков, этот эффект исчез при замене силикона SF-96 более чистым веществом метилсиликоном OV-101 [16].

Наиболее трудно получить надежные величины удерживания систем неполярная (малополярная) неподвижная фаза — полярный сорбат, особенно для сорбатов, образующих водородные связи. Первый признак ненадежности данных — зависимость времени удерживания от высоты пика сорбата при предельно малых концентрациях. Если такая зависимость наблюдается, то соответствующие величины избирательности неподвижной фазы не могут считаться воспроизводимыми. Удерживание полярных сорбатов на неполярной и малополярной неподвижных фазах во многом определяется правильным выбором носителя. Это относится к таким веществам, применяемым в системе Мак-Рейнольдса или Роршайдера, как пиридин, нитропроизводные, спирты, кетоны. На немодифицированном

полиэтиленгликолем носителе характеристики избирательности неполярных и малополярных неподвижных фаз невоспроизводимы. В системе Роршайдера не использован модифицированный носитель, в системе Мак-Рейнольдса носитель модифицирован 0,5% детергента, поэтому данные Мак-Рейнольдса можно считать более надежными.

При оценке избирательности неподвижных фаз в капиллярных колонках требуется особая осторожность ввиду необходимости устранения адсорбции на стенках колонок. Не рекомендуется использовать нержавеющей сталь в качестве материала для капиллярных колонок, а поверхность стекла должна быть обязательно силанизирована. Для неполярных и малополярных неподвижных фаз следует обращать внимание на адсорбцию на границе раздела неподвижная фаза — носитель (стенки капиллярной колонки), если для характеристики используют полярные сорбаты-тесты.

Адсорбция на границе раздела газ — жидкость проявляется, в основном, при использовании полярных неподвижных фаз; наибольший вклад в объем удерживания этот вид адсорбции вносит для неполярных и малополярных сорбатов. При оценке избирательности неполярных и малополярных неподвижных фаз влиянием адсорбции на поверхности раздела газ — жидкость на объем удерживания можно пренебречь. В табл. 1.7 приведены значения вклада этого вида адсорбции в объем удерживания различных сорбатов на весьма полярной неподвижной фазе — триодипропионитриле. Для парафинов адсорбция составляет до 80% от измеряемой величины объема удерживания, подобные же выводы были сделаны и для другой полярной неподвижной фазы — полиэтиленгликольсукцината [17]. Тщательные исследования этого вида адсорбции в газохроматографических системах были выполнены авторами работ [18—20], достоверность газохроматографических данных была подтверждена статическими опытами.

Большое число экспериментальных данных, характеризующее адсорбцию различных сорбатов на поверхности полиэтиленгликоля-20000 приведено в работе [21], где обработка величин удерживания осуществлялась по уравнению

$$V_g = V_g^{\infty} + k_1/\omega_1^0 + k_2[(1/\omega_1^0) - 0,10] \quad (29)$$

где  $k_1$ ,  $k_2$  — коэффициенты, характеризующие влияние адсорбционных процессов на экспериментально определяемый удельный объем удерживания  $V_g$  и  $V_g^{\infty}$  — удельный объем удерживания при бесконечно большом количестве неподвижной фазы в колонке;  $\omega_1^0$  — часть массы сорбента, приходящаяся на неподвижную фазу.

Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , рассчитанные по уравнению (29), приведены в табл. 1.16. Коэффициент  $k_1$  характеризует адсорбцию на поверхности неподвижной фазы,  $k_2$  — на поверхности раздела неподвижная фаза — носитель; причем авторы предполагают, что данным видом адсорбции можно пренебречь при

Таблица I.16. Удельные объемы удерживания при бесконечно большом количестве неподвижной фазы и коэффициенты адсорбции из уравнения (29)

Сорбат	120 °C			140 °C		
	$k_1$	$k_2$	$V_g^\infty$	$k_1$	$k_2$	$V_g^\infty$
n-Гексан	5,4	—	2,1	3,4	—	1,6
n-Гептан	11	—	3,7	5,9	—	2,6
n-Октан	21	—	6,3	9	—	4,2
Бензол	0	—	17,5	0	—	10,8
Толуол	0	—	33	0	—	17,5
Этилбензол	1	—	48	2,6	—	26,5
n-Пропилбензол	16	—	72,6	6	—	39,7
n-Бутилбензол	44	—	121	18	—	63,4
Метанол	0	10	9,8	0	4,3	5,7
Этанол	0	6,2	12,6	0	4,4	6,9
n-Пропанол	0	9,6	21,9	0	6,8	12,1
Ацетон	3,2	—	7,5	1,3	—	4,9
Метилэтилкетон	3,4	—	12,4	2	—	7,5
Пентанон-2	6,8	—	19,2	5,2	—	10,6
Пентанон-3	4,6	—	19,3	1,2	—	11,3
Гептанон-2	19,6	—	59,2	20	—	32,5
Гептанон-3	23,8	—	50,6	10	—	27,5
Гептанон-4	22,8	—	43,6	9,6	—	23,8

количестве неподвижной фазы на носителе, большем 10%. Согласно данным табл. I.16, адсорбция спиртов на поверхности неподвижной фазы пренебрежимо мала, а для циклических молекул невелика. Эти данные показывают также, что адсорбция на поверхности неподвижной фазы возрастает по мере увели-

Таблица I.17. Относительное удерживание сорбатов на колонке с полиэтиленгликолем-20000 при различном содержании неподвижной фазы в колонке

Сорбат	Неподвижная фаза, %						Ошибка, %	Вклад адсорбции, %
	5	10	15	20	25	$r^\infty$		
n-Гексан	0,143	0,137	0,136	0,134	0,136	0,120	0,6	11,7
n-Гептан	0,264	0,249	0,241	0,238	0,234	0,211	2,3	12,1
n-Октан	0,467	0,444	0,417	0,410	0,402	0,360	3,8	13,8
n-Нонан	0,841	0,771	0,742	0,730	0,687	0,628	4,2	14,1
Этилбензол	2,727	2,760	2,742	2,697	2,712	2,742	2,9	—
n-Пропилбензол	4,33	4,20	4,20	4,13	4,12	4,15	0,9	0
Метанол	0,534	0,552	0,541	0,532	0,576	0,560	3,0	—
Ацетон	0,443	0,428	0,428	0,421	9,441	0,428	1,7	0,2
Метилэтилкетон	0,704	0,708	0,725	0,713	0,717	0,708	0,9	1,0
Пентанон-2	1,114	1,091	1,108	1,090	1,113	1,093	0,9	0,3
Пентанон-3	1,114	1,108	1,119	1,101	1,103	1,103	0,7	0,4
Гептанон-2	3,45	3,48	3,41	3,45	3,41	3,39	1,6	0,6
Гептанон-3	2,398	2,971	2,913	2,865	2,938	2,871	1,3	1,0
Гептанон-4	2,557	2,560	2,565	2,522	2,531	2,491	0,7	2,1

$r^\infty$  — относительный объем удерживания, экстраполированный к бесконечно большому количеству неподвижной фазы в колонке, стандарт — бензол

чения количества атомов углерода в алкильном радикале молекулы.

В табл. I.17 приведены величины относительного удерживания сорбатов для колонок, содержащих различное количество полиэтиленгликоля на носителе. Видно, что относительное удерживание сорбатов зависит от количества неподвижной фазы на носителе. Вычисленный на основе уравнения (29) вклад адсорбции ароматических углеводородов и полярных сорбатов в их удерживание на полиэтиленгликоле или пренебрежимо мал или сравним с ошибками опыта. Анализ литературных данных показывает, что вклад адсорбции на поверхности неподвижной фазы в объем удерживания не превышает 1%, если коэффициент активности сорбата не больше 5, т. е. если система не очень сильно отклоняется от идеальности.

Поверхность жидкости гораздо более однородна, чем поверхность диатомитового носителя, поэтому эффекты нелинейности изотермы адсорбции на поверхности неподвижной фазы проявляются лишь при предельно малых размерах пробы [22].

#### УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДИМЫХ ВЕЛИЧИН УДЕРЖИВАНИЯ

Для получения воспроизводимых характеристик удерживания необходимо подбирать такие условия, при которых величины удерживания не зависят от величины пробы (в крайнем случае для внутривлабораторного сравнения — контролируемый размер пробы). В нелинейной хроматографии общая картина зависимости объема удерживания от размера пробы (высота пика) может быть представлена графиком рис. 6. При небольших пробах зависимость объема удерживания от высоты пика определяется кривизной изотермы адсорбции, при больших — кривизной изотермы растворения. В области средних концентраций раствора наступает компенсация эффектов, связанных с кривизной изотерм растворения и адсорбции; эта область кажущегося отсутствия зависимости объема удерживания от высоты пика может достигать 5—6 порядков изменения его высоты или же иметь минимум. Чем идеальнее система, тем больше эта область. Следовательно, для получения воспроизводимых величин удерживания целесообразно работать в области минимума зависимости объема удерживания от высоты пика. Если же по каким-либо причинам (малый объем пробы, низкие концентрации исследуемого вещества) не удается работать в этой области, следует использовать линейную зависимость объема удерживания от обратной величины логарифма высоты пика [6], по которой вычисляют величину удерживания при фиксированной высоте пика.

Следующим фактором, необходимым для получения воспроизводимых величин удерживания, является правильный выбор количества неподвижной фазы в хроматографической колонке.

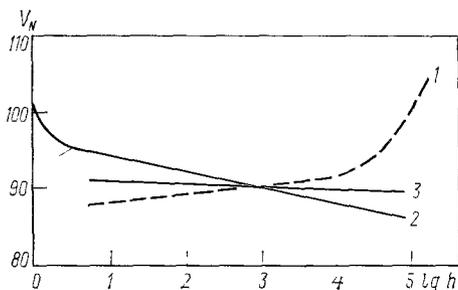


Рис. 6. Зависимость объема удерживания (в мл) от логарифма высоты пика:

1 — линия отражающая распределение газ — жидкость; 2 — линия, отражающая влияние адсорбции, 3 — линия, представляющая собой сумму сорбционных эффектов в зоне кажущегося отсутствия влияния высоты пика на объем удерживания.

Зависимость удельного объема удерживания сорбата от количества неполярной (сквалан) и очень полярной (оксидипропионитрил) неподвижной фазы одинакова. После нанесения на носитель первых порций неподвижной фазы адсорбция на его поверхности резко падает вследствие блокирования активных центров молекулами неподвижной фазы; в результате кажущийся удельный объем удерживания снижается. По мере заполнения пор носителя неподвижной фазой поверхность раздела газ — жидкость уменьшается, что влечет за собой соответствующее снижение удельного объема удерживания. Одновременно увеличивается доля капиллярной жидкости; поскольку коэффициент распределения жидкость — газ для адсорбированного слоя жидкости ниже, чем для капиллярной жидкости, то увеличение доли капиллярной жидкости равносильно росту экспериментально измеряемого удельного объема удерживания. Таким образом, зависимость удельного объема удерживания от количества неподвижной фазы на носителе проходит через минимум. Только при содержании неподвижной фазы на носителе, большем 25% от массы сорбента, удельный объем удерживания не зависит от количества неподвижной фазы на носителе.

С учетом этой зависимости необходимо рассматривать применение следующего уравнения для вычисления удельного объема удерживания (коэффициента распределения жидкость — газ) при экстраполяции экспериментальных данных к бесконечно большому количеству неподвижной фазы в колонке:

$$V_N/V_I = K + K_{sl}S_{sl}/V_I + K_{gl}S_{gl}/V_I \quad (30)$$

Это уравнение можно использовать лишь при содержании неподвижной фазы на носителе, большем 25% от массы сорбента. Учитывая технические трудности работы с большими количествами неподвижной фазы на носителе и малую точность измерения количества неподвижной фазы в колонке, нецелесообразно характеризовать избирательность неподвижной фазы экстраполированными по последнему уравнению величинами.

Итак, если необходимо оценить избирательность неподвижной фазы по удерживанию сорбатов-тестов, перед исследователем появляется альтернатива: определять истинный коэффициент распределения жидкость — газ при экстраполяции экспериментальных данных к бесконечно большому количеству не-

подвижной фазы в колонке или же измерять величины удерживания при некотором реальном содержании неподвижной фазы в колонке, имея в виду всю сложность сорбционных процессов в газохроматографической колонке. Если придерживаться позиций чистой теории, следует определять избирательность неподвижной фазы исключительно по коэффициенту распределения жидкость — газ. Однако цена такого определения слишком высока: данные относятся к гипотетическому состоянию, практически не реализуемому в реальных условиях ГЖХ, а экстраполяция к бесконечно большому количеству неподвижной фазы в колонке является настолько мало точным методом, что заставляет сомневаться вообще в надежности подобной процедуры.

Конечно, если изучается термодинамика равновесия газ — жидкость, то подобная экстраполяция служит необходимым элементом эксперимента, однако аналитика-хроматографиста больше интересует та избирательность сорбента, которая наблюдается в реальных условиях, когда на величины удерживания влияет весь комплекс сорбционных процессов. И с этой точки зрения избирательность неподвижной фазы необходимо определять как экспериментальную величину при каких-то наперед заданных условиях эксперимента. Следовательно, целесообразнее регламентировать условия проведения эксперимента по определению избирательности неподвижной фазы, чем получать некие теоретические величины. С этой точки зрения необходимо при изучении избирательности неподвижной фазы применять наименее активный и наиболее гомогенный носитель, а количество неподвижной фазы на диатомитовом белом носителе типа хроматона и хромосорба W должно составлять 10—15% от массы сорбента, что приходится на минимум зависимости удельного объема удерживания от количества неподвижной фазы. Хотя в таких условиях определенный вклад в объем удерживания приходится на ряд адсорбционных процессов, однако данные удерживания сравнительно мало (в пределах 5—7% изменения количества неподвижной фазы в колонке) зависят от содержания неподвижной фазы на сорбенте, а избирательность реальной колонки может быть практически использована в аналитической химии без излишних теоретических аппроксимаций. Поэтому рекомендуется параметры избирательности неподвижной фазы определять экспериментально в экстремальных областях: в минимуме зависимости удельного объема удерживания от количества неподвижной фазы на носителе и в минимуме зависимости объема удерживания от размера пробы.

Примером целесообразности выбора условий эксперимента с минимальным влиянием адсорбции на величины удерживания служит работа [22], в которой индексы Ковача сравнительно неполярных сорбатов (олефин, ароматические углеводороды и хлорпроизводные парафинов) были измерены в 5 различных лабораториях при нанесении 6% сквалана на активный розо-

вый носитель — хезасорб. Авторы работы нашли, что для ароматических углеводородов и галогенпроизводных углеводородов межлабораторные расхождения составили до 38 ед. индекса. Более воспроизводимые значения индексов получают при использовании нескольких колонок с различным количеством неподвижной фазы на носителе, что дало возможность авторам цитируемой работы выдвинуть инвариантный индекс удерживания, получаемый при экстраполяции экспериментальных данных к бесконечно большому количеству неподвижной фазы в колонке. Однако, если сквалан нанести на инертный белый диатомитовый носитель типа «супер» или НР, и не 6, а 15% и регламентировать величину пробы для работы при высокой чувствительности детектора, то межлабораторная воспроизводимость индексов удерживания составит 1—2 ед., что было проверено в лаборатории автора при сравнении экспериментальных и литературных характеристик удерживания для указанных систем.

Выбор оптимальной длины колонки для определения избирательности неподвижной фазы также сводится к паллиативному решению для практики газохроматографического анализа. Экспериментально найдено [23], что зависимость удельного объема удерживания от длины колонки (в области концентрационной зависимости коэффициента распределения жидкость — газ) выражается уравнением:

$$V_g = L/(L/V_g^\infty - b) \quad (31)$$

где  $L$  — длина колонки;  $b$  — константа.

Практика показывает, что для колонок длиннее 1 м удельный объем удерживания практически не зависит от длины колонки. Этот показатель определяет минимально возможную длину колонки, на которой можно измерять параметры избирательности неподвижной фазы.

Судя по литературным данным, диаметр колонки не влияет на относительные объемы удерживания и на другие параметры избирательности неподвижной фазы.

В общем рекомендуется определять параметры избирательности неподвижной фазы на свежеприготовленной колонке, протренированной при максимально допустимой температуре не менее суток в потоке газа-носителя. Однако такие параметры характеризуют свежеприготовленную колонку, а для аналитика представляет также определенный интерес возможное изменение избирательности неподвижной фазы при эксплуатации колонки. Изменения свойств колонки при ее работе могут быть классифицированы как физические и химические. Физические изменения свойств колонки обусловлены испарением неподвижной фазы из начальных частей колонки. При этом в первую очередь испаряется капиллярная жидкость, адсорбированный слой неподвижной фазы более термостоек. Уменьшение количества неподвижной фазы в начальных частях колонки приводит к рез-

кому возрастанию концентраций газохроматографического раствора, что служит причиной заметных концентрационных эффектов в удерживании сорбата. При этом изменяется, в основном, мольная энтропия сорбции, а энтальпийные характеристики избирательности неподвижной фазы остаются неизменными. Следовательно, для сохранения разделительных свойств колонки необходимо работать при температурах как можно более низких по сравнению с рекомендуемыми основными ВТП.

Значительно большее влияние на избирательность неподвижной фазы оказывают химические изменения, происходящие в газохроматографической колонке. Наибольшее число опубликованных данных по этому вопросу относится к сквалану. Например показано [24], что длительный нагрев колонки со скваланом при 80 °С (основной ВТП для сквалана составляет 120—140 °С) приводит к возрастанию в неподвижной фазе количества легких углеводородов от 6,1 до 14,7%. Это вызывает изменение относительного удерживания углеводородов в пределах от 1 до 2,5%.

При использовании неполярных и малополярных неподвижных фаз наиболее опасно окисление этих веществ с образованием продуктов, которые модифицируют границу раздела жидкость — твердый носитель с соответствующими изменениями разделительной способности колонки. Например, [25] после пропускания кислорода через колонку со скваланом при 100 °С индексы Ковача полярных сорбатов уменьшаются почти на 40 ед. Если по условиям эксперимента в колонку вводят определенное количество кислорода, целесообразно к неподвижным фазам добавлять антиоксиданты.

Если применяют полимерные неподвижные фазы неоднородного состава, например полиэтиленгликоли, определенное влияние на избирательность этих неподвижных фаз оказывает соотношение в них полимеров с различной молекулярной массой [26, 27]. Для таких неподвижных фаз индексы Ковача изменялись в пределах от 0,4 до 0,8 ед., что вполне сравнимо с ошибкой эксперимента.

При использовании капиллярных колонок, изготовленных из нержавеющей стали, каталитические эффекты поверхности стенок колонок изменяют показатели работы колонки, особенно, когда колонка работает при высоких температурах. Например, при температуре колонки, изготовленной из нержавеющей стали и покрытой скваланом, индексы удерживания ароматических углеводородов изменяются на 0,1 ед. после работы в течение трех лет (50—70 °С) [28], при работе колонки в области 80—95 °С изменение индексов Ковача после работы в течение двух-трех недель достигает 0,2 ед. индекса. Эти цифры указывают на предельную температуру использования сквалана с каталитически активными стенками колонки, изготовленной из нержавеющей стали. При использовании полярных неподвижных фаз индексы Ковача зависят от концентрации примесей на

границе раздела жидкость — газ. Например, при использовании капиллярной колонки с ацетилтрибутиратом относительное удерживание парафинов изменяется на 0,5% после трех месяцев работы [28], что может быть отнесено целиком за счет изменения адсорбции на границе раздела жидкость — газ. Если использовать капиллярную колонку с 1,2,3-трис(2-цианэтокси)-пропаном при 94 °С, индекс Ковача для ароматических углеводородов в течение дня изменяется на 0,3 ед.

Подобные же эффекты наблюдаются и для насадочных колонок, причем в зависимости от активности компонентов разделяемых смесей избирательность колонки может изменяться под влиянием накапливаемых в сорбенте примесей. Следовательно, для сохранения избирательности свежеприготовленной колонки газ-носитель не должен содержать окислителей, а стенки капиллярной колонки должны быть каталитически не активны.

#### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ НЕПОДВИЖНОЙ ФАЗЫ

Для измерения относительного удерживания исследуемого вещества необходимо определить времена удерживания данного вещества  $t_{Rx}$ , стандарта  $t_{Rst}$  и несорбирующегося газа  $t_0$ :

$$r = (t_{Rx} - t_0) / (t_{Rst} - t_0) \quad (32)$$

Время удерживания несорбирующегося газа характеризует мертвый объем системы. По определению, в качестве несорбирующегося газа целесообразно использовать газы типа гелия, аргона; при работе с катарометром не возникает никаких осложнений в использовании подобных газов. Однако пламенно-ионизационный детектор реагирует только на вещества, в состав молекул которых входит углерод. Наиболее низкомолекулярным из таких соединений является метан; этот газ можно применять при температурах выше 100 °С для измерения мертвого объема системы [29]. Но для более низких температур следует учитывать растворимость метана в неподвижной фазе, например при 70 °С коэффициент распределения метана в сквалане составляет 0,16. Если использовать колонку длиной 1—2 м, содержащую 20% сквалана на носителе, при применении метана для измерения мертвого объема системы ошибка измерения чистого объема удерживания этана составляет 54,3%, *n*-бутана — 11,4%, *n*-пентана — 4,6%, *n*-октана — 0,3%, стирола — 0,2%, *n*-нонана — 0,1% [30].

Если по условиям опыта невозможно измерить мертвый объем системы при помощи инертных газов, используется следующее выражение [31, 32]:

$$t_0 = [t_{R(c+1)}t_{R(c-1)} - t_{Rc}^2] / [t_{R(c+1)} + t_{R(c-1)} - 2t_{Rc}] \quad (33)$$

где индекс *c* обозначает количество атомов углерода в молекуле *n*-парафина.

Для вычисления мертвого объема используют времена удерживания трех членов гомологического ряда *n*-парафинов, времена удерживания этих компонентов должны быть достаточно велики. При использовании *n*-парафинов от *n*-пентана до *n*-гептана ошибка вычисления мертвого объема составляет около 0,5 ед. индекса Ковача.

Наиболее целесообразно измерять газовый объем системы, используя инертные газы. Для того чтобы пламенно-ионизационный детектор фиксировал время удерживания инертного газа, необходимо создать определенный фон паров неподвижной фазы или сорбата, на котором время удерживания инертного газа наблюдают по вершине отрицательного пика на фоне паров органического вещества. Удобнее всего создать условия, при которых фон паров неподвижной фазы отмечается детектором. Для этого необходимо использовать максимальную чувствительность системы и, если даже при этих условиях пары неподвижной фазы не фиксируются, следует повышать температуру колонки до тех пор, пока детектор не отреагирует на фон паров. Можно для определения времени выхода несорбирующегося газа ввести в колонку большую пробу медленно выходящего из нее органического соединения и на фоне размытого пика этого вещества наблюдать отрицательный пик инертного газа. Необходимо учитывать, что время удерживания несорбирующегося газа сравнительно мало зависит от температуры колонки и поэтому эту величину можно экстраполировать от более высоких температур к низким.

Время удерживания исследуемого и стандартного соединений необходимо определять с помощью секундомера или по показаниям электронных интеграторов, позволяющих измерять время с ошибкой не хуже 0,2 с. Если время удерживания измеряется вручную, реакция оператора составляет от 0,1 до 0,3 с; при измерении выхода пика при помощи интегратора эта ошибка учитывается только для момента ввода пробы. При работе на колонке со скваланом ошибка измерения времени удерживания с помощью компьютера в 5—7 раз ниже ошибки для ручного измерения [30], однако при работе с полярными неподвижными фазами заметной разницы в ошибках измерения сравниваемыми методами не отмечалось. Ошибка определения времени удерживания вершины пика при использовании компьютера достигает 0,005%.

Если для фиксирования времени удерживания используют электронный интегратор, требования к эффективности колонки не очень велики; однако при ручном процессе необходимо использовать колонку эффективностью не менее 500 т. т., в противном случае размытая вершина пика не позволяет точно отметить точку перегиба.

При измерении относительного удерживания необходимо особое внимание уделять стабильности двух параметров опыта: температуры колонки и скорости газа-носителя. Изменение

температуры колонки может быть кратковременным или длительным (дрейф температуры). Если температура колонки изменяется с периодичностью до 3 мин в пределах  $0,2^{\circ}\text{C}$ , то температура сорбента в насадочной колонке практически не меняется. Кратковременные изменения температуры термостата колонок характерны для работы любого пропорционального электронного терморегулятора. Электронный регулятор температуры может обеспечить стабильность температуры воздушного термостата в пределах до  $0,05^{\circ}\text{C}$ , а использование компьютера снижает эту величину до  $0,02^{\circ}\text{C}$  [33, 34]. Регулировка скорости газа-носителя должна обеспечивать постоянство потока в пределах  $0,1\%$ , что требует установки в схему хроматографа различных пневматических регуляторов с обратной связью и термостатирования схем регуляции расходов газа.

Однако как бы ни была совершенна схема поддержания постоянного газового потока и поддержания температуры колонки, определенные колебания этих параметров неизбежны хотя бы в силу принципа работы регуляторов. Для учета всех этих колебаний можно использовать компьютер, который вносит необходимые поправки на изменения параметров опыта [35, 36]. Например, среднее относительное отклонение величин удерживания при их определении с компьютером составляет  $0,02\%$ , в то время как при ручном обчете данных и обычной электронной регулировке параметров ошибка возрастает до  $0,43\%$ .

При определении относительного удерживания как характеристики избирательности неподвижной фазы необходимо уделить большое внимание выбору стандартного соединения. Если время выхода стандартного соединения составляет более 5 мин и проводится не менее трех параллельных измерений этого параметра, ошибкой измерения времени выхода стандарта для практических целей можно пренебречь. Стандартное соединение желательно вводить индивидуально до и после эксперимента; это удобно, если стандартное соединение плохо разделяется с компонентами анализируемой смеси. Кроме того, хроматограф должен иметь соответствующие высокие показатели постоянства поддержания температуры колонки и расхода газа-носителя. Имеются указания [37], что введение стандартного соединения в состав анализируемой смеси повышает на  $20\text{--}50\%$  надежность получаемых относительных величин удерживания.

При использовании компьютерного контроля хроматографа ошибка определения относительного удерживания достигает  $0,02\%$ , однако вряд ли такая высокая воспроизводимость необходима для оценки избирательности неподвижной фазы. Ручной обсчет хроматограмм при применении обычных промышленных хроматографов позволяет сравнительно легко получать данные со средней относительной ошибкой  $0,2\%$ , причем эта ошибка во многих случаях зависит также и от природы используемой неподвижной фазы. Например, по данным работы [38], на капиллярной колонке с фенилсиликоном OV-17 ошибка опре-

деления составляет  $0,2\%$ , с полиэтиленгликолем-20000 —  $0,3\%$ , с силиконовым маслом SF-96 —  $0,5\%$ .

Поскольку для оценки избирательности неподвижной фазы часто используют критерии Роршнайдера и Мак-Рейнольдса, следует кратко остановиться на ошибке определения этих величин на основе индексов Ковача. Как указывалось выше, для неполярных и малополярных неподвижных фаз индексы удерживания полярных сорбатов заметно зависят от адсорбции полярных сорбатов на границе раздела неподвижная фаза — твердый носитель. Для полярных неподвижных фаз индексы Ковача в большой степени определяются адсорбцией *n*-парафинов на поверхности полярной неподвижной фазы и поэтому полученные в этих условиях индексы удерживания также не могут считаться воспроизводимыми надежными величинами. Таким образом, индексы Ковача могут быть использованы для характеристики тех систем, свойства которых приближаются к идеальным: умеренно полярные неподвижные фазы и такой же природы сорбаты. К сожалению, использование для вычисления индекса Ковача полярного сорбата и неполярного стандартного соединения (*n*-парафин) не позволяет ни для одной системы реализовать эти требования; поэтому с точки зрения воспроизводимости и надежности результатов индексы Ковача нецелесообразно использовать для характеристики избирательности неподвижной фазы. Вариации количества неподвижной фазы на носителе, природы носителя, способов его модификации изменяют количественное выражение «полярности» неподвижной фазы и поэтому приведенные ниже значения подобной полярности следует рассматривать как ориентировочные. Их можно сравнивать лишь в тех случаях, когда исследование проведено в одной лаборатории при сходных условиях эксперимента.

Если же оценивать избирательность неподвижной фазы по относительному удерживанию, у исследователя появляется возможность выбрать подходящий стандарт, адсорбцией которого на границах раздела фаз можно пренебречь. Среди таких веществ наиболее целесообразно выбрать ароматические углеводороды, которые удерживаются в достаточной степени как на неполярных, так и на полярных неподвижных фазах. В зависимости от времен удерживания исследуемых веществ можно использовать следующие ароматические углеводороды в качестве стандартов: бензол, *o*-ксилол, нафталин, антрацен, пирен, бензпирен. Этот набор перекрывает практически всю шкалу удерживания органических соединений в ГЖХ. При необходимости можно пересчитать относительное удерживание от одного стандарта к другому и таким путем проводить исследования с так называемыми промежуточными стандартами, которые выходят из колонки в приемлемое для экспериментатора время.

Таким образом, оценка избирательности неподвижной фазы по относительному удерживанию к правильно выбранному стандарту позволяет сразу же определить весь комплекс сорб-

Таблица 1.18. Константы для вычисления *b*

Неподвижная фаза	<i>a</i>	$\bar{c}$	Неподвижная фаза	<i>a</i>	<i>c</i>
Сквалан	208,47	0,231	Дексил 410	163,22	0,188
Апнезон L	227,39	0,294	OV-17	209,41	0,280
Аполан-87	198,54	0,294	QV-1	206,62	0,308
Силикон SE-30	216,65	0,302	SE-52	223,27	0,319
Полиэтиленгли- коль-20 000	192,7	0,287	DC-550	215,59	0,291
			FFAP	184,82	0,248

Budahegyi M V — J. Chromatogr., 1983, v. 271, p. 213–307

ционных процессов, характерный для исследуемого сорбата, и затем трактовать полученные величины с точки зрения возможных вкладов различных сорбционных процессов в экспериментально определенное значение.

Как относительное удерживание, так и индексы Ковача широко используют в газохроматографической аналитической практике. Для пересчета от индексов Ковача к относительному удерживанию или наоборот необходимо определять разность логарифмов удерживания двух соседних членов гомологического ряда *n*-парафинов (величина *b*). Уменьшить трудоемкость этой процедуры помогают данные табл. 1.18, с помощью которых можно вычислить значения *b* для 11 широко распространенных неподвижных фаз

$$b = a/T - \bar{c} \quad (34)$$

Следовало бы подчеркнуть значение еще одного показателя избирательности — относительной мольной теплоты растворения. Этот параметр вычисляется сравнительно просто по графику зависимости логарифма относительного удерживания от обратной величины абсолютной температуры. Если относительное среднеквадратичное отклонение данных относительного удерживания составляет 0,2%, тот же показатель для относительной мольной теплоты растворения составляет 3%. Энтальпийная избирательность не только позволяет обоснованно трактовать формирование удерживания сорбатов, но эта величина в меньшей степени зависит от условий эксперимента, чем относительное удерживание. Энтропийная избирательность неподвижной фазы более чувствительна к изменению количества неподвижной фазы в колонке, старению колонки и к ряду других параметров опыта.

Межлабораторное расхождение характеристик удерживания можно оценить по данным табл. 1.19 и табл. 1.20, в которых даны величины относительного удерживания и относительных мольных теплот растворения углеводородов, измеренные на 6 неподвижных фазах серии OV в двух лабораториях: в Институте физической химии АН УССР (1) и в США (2) (The Ohio State University, Department of Chemistry, Chien C. J.,

Таблица 1.19. Относительные удерживания и относительные мольные теплоты растворения углеводородов, измеренные на силиконовых неподвижных фазах в двух лабораториях

Сорбат	OV-101			OV-3			OV-7		
	<i>r</i> (1)	$\Delta H^0_s$ (1)	<i>r</i> (2)	$\Delta H^0_s$ (2)	<i>r</i> (1)	$\Delta H^0_s$ (1)	<i>r</i> (2)	$\Delta H^0_s$ (2)	
<i>n</i> -Пентан	0,255	2,9	0,261	5,1	1,3	0,409	2,4	2,0	
<i>n</i> -Гексан	0,651	-2,1	0,637	0,8	0,514	0,409	0,419	2,3	
<i>n</i> -Гептан	1,579	-5,1	1,537	-3,6	1,275	1,023	1,045	-1,8	
<i>n</i> -Октан	3,572	-7,5	3,601	-7,6	3,109	2,523	2,569	-6,1	
Гексен 1	0,587	-2,3	0,575	1,0	—	—	—	—	
Толуол	2,443	-5,1	2,461	-4,4	2,519	2,535	2,520	-4,5	
<i>o</i> -Ксилол	7,01	-10,9	7,00	-9,2	7,492	7,870	7,694	-9,5	
<i>m</i> -Ксилол	5,875	-8,6	5,865	-8,8	6,129	6,339	6,158	-8,6	
<i>p</i> -Ксилол	5,858	-8,2	5,868	-8,8	6,133	6,339	6,125	-9,8	

Сорбат	OV-17			OV-22			OV-25		
	<i>r</i> (1)	$\Delta H^0_s$ (1)	<i>r</i> (2)	$\Delta H^0_s$ (2)	<i>r</i> (1)	$\Delta H^0_s$ (1)	<i>r</i> (2)	$\Delta H^0_s$ (2)	
<i>n</i> -Пентан	0,253	4,0	0,265	4,5	6,1	0,150	7,1	6,3	
<i>n</i> -Гексан	0,641	-2,7	0,648	0,2	0,209	0,392	0,172	2,2	
<i>n</i> -Гептан	1,531	-4,4	1,581	-4,3	0,499	0,392	0,416	2,9	
<i>n</i> -Октан	—	—	—	—	1,198	1,009	0,986	-1,9	
Гексен 1	—	—	—	—	—	—	—	—	
Толуол	2,172	-4,2	2,468	-4,2	2,402	2,421	2,369	-4,8	
<i>o</i> -Ксилол	7,762	-10,2	7,670	-9,9	7,300	7,128	7,186	-9,8	
<i>m</i> -Ксилол	5,768	-7,7	5,876	-8,4	5,559	5,470	5,464	-9,7	
<i>p</i> -Ксилол	5,781	-8,1	5,826	-8,4	5,508	5,445	5,372	-8,5	

Примечание. В скобках обозначение лаборатории, где было выполнено измерение.

Таблица 1.20. Средние квадратичные расхождения характеристик удерживания, измеренные в двух лабораториях

Сорбат	Относительное удерживание, %					Относительная молярная теплота растворения						
	OV-101	OV-3	OV-7	OV-17	OV-22	OV-25	OV-101	OV-3	OV-7	OV-17	OV-22	OV-25
n-Гексан	2,1	0,8	2,5	4,8	6,0	13,7	2,9	0,7	0,1	0,5	0,2	2,1
n-Гептан	2,6	1,2	2,1	1,2	3,0	6,0	1,5	0,5	1,1	2,9	0,3	0
n-Октан	0,8	3,0	1,8	2,0	0,1	1,3	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	0,5
Толуол	0,8	1,2	0,6	0,2	1,0	2,2	0,6	0,4	0	0	0,3	0,3
o-Ксилол	0	2,7	2,2	0,8	1,2	0,8	1,7	2,0	0,7	0,3	1,0	0,6
m-Ксилол	0,2	3,4	2,8	1,8	0	0,1	0,2	1,2	1,0	0,7	0,3	0,2
p-Ксилол	0,2	3,3	3,3	0,8	0,5	1,3	0,6	1,0	0,2	0,3	0,9	0
Среднее квадратичное отклонение	1,4	2,6	2,8	2,3	2,8	6,2	1,5	1,1	0,9	1,2	0,6	0,9

Примечание. Стандарт — бензол, температура — 50 °С. Данные удерживания измерены при 4—5 температурах колонки, после чего интерполированы к 50 °С.

Laub R. J.). В лаборатории 1 неподвижные фазы наносили на хроматон N и супер в количестве 8%, в лаборатории 2 — на силианизированный хромосорб W. Детектор — пламенно-ионизационный.

Расчет относительных молярных теплот растворения был выполнен в лаборатории автора одним методом; в качестве неподвижных фаз были использованы жидкости одной и той же марки, но различных партий. Носители в указанных двух лабораториях различались, но тот и другой относились к наименее активным, силианизированным носителям. Внутрилабораторное среднее квадратичное отклонение относительного удерживания составляет 0,2%, среднее квадратичное отклонение относительной молярной теплоты растворения — 0,2 кДж/моль.

При анализе расхождений можно отметить, что наибольшие погрешности в относительном удерживании наблюдаются для легких парафинов на неподвижных фазах с большим содержанием фенильных групп в молекуле. Наблюдаемые отклонения носят случайный характер. Если отбросить по две ошибки от каждой серии (минимальную и максимальную), то усредненные расхождения составляют для относительного удерживания — 2,1%, для относительных молярных теплот растворения — 0,8 кДж/моль. Это примерно соответствует расхождению в 1 ед. индекса Ковача. Подобные отклонения необходимо считать минимальными, так как для сравнительных испытаний были выбраны неполярные и малополярные системы, где влияние адсорбционных явлений на характеристики удерживания минимально. В тех случаях, когда следует считаться с влиянием адсорбции, результаты опытов будут менее воспроизводимыми, чем это следует из табл. 1.19.

Обычно полагают, что воспроизводимость величин удерживания находится в пределах 1 ед. индекса Ковача, хотя для достижения такой воспроизводимости необходимо использовать или весьма чистые неподвижные фазы или же продукты одной и той же фирмы, не говоря уже об обязательном применении того же носителя (материала капиллярной колонки, способа обработки стенок колонки). С этой точки зрения интересен материал, приведенный в книге Богословского Ю. Н., Анваера Б. И. и Вигдергауза М. С. Хроматографические постоянные в газовой хроматографии. М., Изд. стандартов, 1978, 192 с. Авторы приходят к выводу, что даже на высококачественной аппаратуре с насадочной колонкой погрешность определения индекса Ковача составляет 3—4 ед., а при использовании серийного оборудования она возрастает до 10 ед. При использовании полиэтиленгликоля-1500 производства ГДР вместо карбовакса-1540 (производство США), носителя Инз-600 вместо целита С-22 расхождения удерживания кислородсодержащих соединений — в пределах 4 ед. индекса Ковача. При попытке воспроизвести величины удерживания из справочника Мак-Рейнольдса (замена полиэтиленгликолем-1500 карбовакса-1540, замена носителя и, главное, замена модификатора, который наносился на носитель в количестве 0,5%) расхождения для спиртов и первых членов гомологических рядов могут превышать 10 ед. индекса, а для остальных соединений — в пределах 10 ед. При подобной же замене детергентов и при использовании диоктилфталата в качестве неподвижной фазы расхождения составляют 7 ед.

Приведенные данные еще раз подчеркивают важность точного соблюдения всех условий опыта для получения межлабораторных воспроизводимых величин удерживания.

И, наконец, следует сделать замечание о точности характеристик удерживания, измеренных на капиллярной колонке. Ряд результатов измерений, выполненных на капиллярной колонке, приведен в таблицах с точностью до десятых долей индекса Ковача. Это не означает, что их можно воспроизвести с такой же погрешностью. Поскольку эффективность разделения на капиллярной колонке гораздо выше, чем на насадочной, в условиях капиллярной хроматографии можно с высокой точностью определять положение вершины пика интересующих исследователя компонентов; именно этим и объясняется наличие данных с десятными долями индекса. Такое представление результатов полезно для оценки порядка выхода изомерных веществ и обсуждения пригодности той или иной неподвижной фазы для разделения смесей изомерных соединений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Березкин В. Г. — В сб.: Успехи хроматографии/Под ред. К. В. Чмутова и К. И. Сакодынского. М.; Наука, 1972, с. 215—225.
2. Evans M. B., Smith J. F. — J. Chromatogr., 1967, v. 30, N 3, p. 325—332.
3. Graham D. P. — J. Phys. Chem., 1965, v. 69, N 12, p. 4387—4391.

- 4 Jequier W, Robin J — Chromatographia, 1968, v 1, N 5, p 297—299
- 5 Martire D E, Riedl P. — J Phys Chem, 1968, v 72, N 15, p 3478—3483
- 6 Король А Н, Лысюк Л С, Филоненко Г В — Теор. эксп химия, 1976, т 12, № 6, с 796—804
- 7 Korol A N, Belokleytseva G M, Filonenko G V — Chromatographia, 1979, v 12, p 95—105
- 8 Aue W A, Younker D R — J Chromatogr, 1974, v 88, p 7—14
- 9 Korol A N, Belokleytseva G M, Filonenko G V — J Chromatogr, 1980, v 194, p 145—152
- 10 Райкс Й А и др — ЖАХ, 1974, т 29, с 858—862
- 11 Aue W A, Hastings C R, Gerhardt K O — J Chromatogr, 1973, v 77, p 299—305
- 12 Blomberg L, Widmark G — J Chromatogr, 1975, v. 106, N 1, p 59—70
- 13 Franken J J, Trijbels M M F — J Chromatogr, 1974, v 91, p 425—432
- 14 Grob K, Grob G, Grob K Jr — J High Resolut Chromatogr. & Chromatogr Commun, 1979, v 2, N 11, p 677—678
- 15 Grob K, Grob G — J High Resolut Chromatogr & Chromatogr Commun, 1980, v 3, N 4, p 197—198
- 16 Blomberg L B — J Chromatogr, 1975, v 115, N 2, p 365—372
- 17 Heintz M, Druilhe A, Gregoire J, Lefort D — Meth phys anal, 1969, v 5 N 4, p 370—378
- 18 Martin R L — Anal Chem, 1961, v 33, N 3, p 347—352
- 19 Martire D E, Pecsok R L, Purnell J H — Trans Faraday Soc, 1965 v 61, N 11, p 2496—2508
- 20 Martire D E, Pecsok R L, Purnell J H — Nature, 1964, v 203 N 4951, p 1279—1280
- 21 Bonastre J, Gremer P, Cazenave P — Bull soc chim France, 1968, N 3, p 1266—1273
- 22 Березкин В Г и др — ЖАХ, 1983, т 38, № 8, с 1475—1478
- 23 Filonenko G V, Dovbush T I, Korol A N — Chromatographia, 1974, v 7, N 6, p 293—298
- 24 Wicarova A, Novak J, Janak J — J Chromatogr, 1970, v 51, N 1, p 3—11
- 25 Evans M B, Smith J F — J Chromatogr, 1967, v 28, N 2, p 277—284
- 26 Evans M B, Smith J F — J Chromatogr, 1968, v 36, N 4, p 489—503
- 27 Evans M B, Smith J F — J Chromatogr, 1961, v 6, N 4, p 293—311
- 28 Sojak L, Rijks A — J Chromatogr, 1976, v 119, p 505—521
- 29 Cramers C A, Luyten J, Rijks J A — Chromatographia, 1970, v 3, N 9, p 441—442
- 30 Ezrets V A, Vigdergauz M S — Chromatographia, 1976, v 9, N 5, p 205—209.
- 31 Gold H J — Anal Chem, 1962, v 34, N 1, p 174—175
- 32 Hensen H L, Anderson K — J Chromatogr, 1968, v 34, p 246—248
- 33 Rijks J A, Cramers C A — Chromatographia, 1974, v 7, N 2, p 99—106
- 34 Burke M F, Thurman R G — J Chromatogr Sci, 1970, v 8, N 1, p 39—45
- 35 Thurman R G, Mueller K A, Burke M F — J Chromatogr Sci, 1971, v 9, N 2, p 77—83
- 36 Jonsson J A, Jonsson R — J Chromatogr, 1975, v 111, p 265—278
- 37 Guardino X, Albages J, Firpo G, Rodriguez-Vinals R, Gassiot M — J Chromatogr, 1976, v 118, N 1, p 13—22
- 38 Hartigam M J, Ettre L S — J Chromatogr, 1976, v 119, p 187—206

## Свойства наиболее распространенных неподвижных фаз

### Глава 1

#### НЕПОЛЯРНЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ

Неполярными неподвижными фазами можно считать вещества, молекулы которых не содержат полярных функциональных групп: к ним относят соединения, представляющие собой сочетание метильных, метиленовых и других групп, включающих только углерод и водород. *n*-Парафиновые неподвижные фазы обладают сравнительно высокой температурой плавления, что ограничивает их применение. Разветвление углеродной цепочки заметно понижает температуру плавления углеводорода, а давление пара изомерного парафина ненамного ниже, чем тот же параметр у *n*-парафина. Это и послужило причиной широкого распространения изомерных парафинов как неполярных неподвижных фаз в аналитической ГЖХ. Например, температура плавления аполана равна 35 °С, а полиэтилена — свыше 120 °С; ВТП для этих двух неподвижных фаз практически одинаков и составляет 260—275 °С. Аполан является синтетическим продуктом весьма высокой стоимости, поэтому во многих случаях используют гораздо более дешевый разветвленный парафин — сквалан, который получают гидрированием природного соединения — сквалена. Однако ВТП сквалана почти на 150 °С ниже, чем у аполана; кроме того, в сквалане содержится смесь геометрических изомеров.

Поскольку имеются многочисленные публикации по характеристикам удерживания на изопарафиновых неподвижных фазах с различной молекулярной массой, для пересчета характеристик удерживания от одной неподвижной фазы к другой можно использовать отношения, найденные в работах [1, 2]. Существует линейная зависимость между логарифмом относительного удерживания сорбата и обратной величиной молекулярной массы неподвижной фазы, если сравниваются неподвижные фазы, обладающие сходным углеродным скелетом молекулы.

В табл. II 1 приведены основные свойства неполярных неподвижных фаз, а в табл. II 2 — показатели избирательности этих веществ. Данные табл. II 2 показывают, что избирательность неполярных неподвижных фаз неодинакова. Например, апизоны обладают различной избирательностью к сорбатам-тестам в системе Мак-Рейнольдса. Этот класс неполярных неподвижных фаз широко применяли во многих хроматографических работах, особенно в первые годы развития метода ГЖХ, и поэтому в литературе имеется обширный экспериментальный материал по удерживанию на апиэнонах разнообразных сорбатов

Таблица II.1. Свойства неполярных неподвижных фаз

Неподвижная фаза	Состав	НТП, °С	ВТП, °С	Растворимость
Апиезоны: A <sup>1</sup>		—	150	X
B		—	200	X
C		—	200	X
H		50	250	X
J		20—50	250	X
K		20—50	250	X
L		50	250	X
M		50	270	X
N		50	270	X
W		50	270	X
M гидрированный <sup>2</sup> , молекулярная масса около 4000		—	250	X
Аполан (24,24-диэтил-19,19-диоктадецилгептатетраоктан)	C <sub>87</sub> H <sub>176</sub>	35	260	Г
Асфальтены <sup>3</sup>		—	120	X
Бензилдифенил	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	60—80	100	A, X
Вазелиновое масло		20	40	X
n-Гексадекан	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	20	50	Г
n-Гексатриаконтан	C <sub>36</sub> H <sub>74</sub>	76	150	»
n-Дотриаконтан	C <sub>32</sub> H <sub>66</sub>	70	200 <sup>7</sup>	»
1-Метилнафталин	CH <sub>3</sub> C <sub>10</sub> H <sub>7</sub>	20	75	Э
n-Октадекан	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	30	60	Г
Парафин твердый		50—60	100	X
Парафиновое масло, нуйол		20	100	»
n-Пентадекан	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	20	50	Г
Полибензильный эластомер <sup>4</sup>		50	240	Б
Полиизобутилен	(C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	50	200	X
Полистирол <sup>5</sup>		140	340	Д
Полиэтилен		100—150	270	T <sup>8</sup>
Сквалан (2,6,10,15,19,23-гексаметилтетракозан)		20	150	Г
Сквален (2,6,10,15,19,23-гексаметилтетракозагексаен)		20	140	»
Тетраизобутилен	(C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>4</sub>	38	120 <sup>7</sup>	»
n-Тетракозан	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>	50	140 <sup>7</sup>	»
Тринзобутилен	(C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>3</sub>	20	20	»
Трифенилметан	(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> CH	95	150	X
Фенантрен	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	100	130	»
n-Эйкозан	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	38	70	Г
Эластомер RSL-110 <sup>6</sup>		120	330	X
Alathon 7040		—	240	—
Convoil 20		—	—	—
Fluhyzon (алкилнафталины)		—	280	T
Histowax		50	—	—
Lustrex HF-77 (полистирол)		—	230	T
Marlex		100	240	K

1 — Апиезоны представляют собой техническую смазку выпускаемую из тяжелой фракции нефти. Целевой продукт очищается молекулярной перегонкой, легкие фракции удаляются. Возрастание термостойкости апиезонов идет по ряду от А до W, одновременно увеличивается минимальная температура использования. Ввиду того что апиезоны представляют собой консистентную смазку, целесообразно использовать их при температурах колонки ниже 50 °С. Хотя в таблице указаны ВТП для этого класса смазок в диапазоне 150—270 °С, при длительной эксплуатации выше 200 °С сорбент с апиезоном темнеет и при использовании пламенно-ионизационных детекторов наблюдается сильный фон. В состав апиезонов входит сложная смесь молекул с боковыми метильными и метиленовыми группами, транс-замещенные двойные связи, большое число ароматических

колец. Свойства апиезонов от партии к партии воспроизводятся неудовлетворительно с точки зрения ГЖХ.  
2 — Vernon F., Gopal P. L. — J. Chromatogr. 1978, v. 150, p. 45—51, Vernon F., Oqundipe C. O. E. — J. Chromatogr. 1977, v. 132, p. 181—192. Продукт получается гидрированием апиезона М при 200 °С в присутствии никеля Ренея. Свойства гидрированного продукта так же воспроизводимы, как и исходного. Гидрирование могут подвергаться также и другие марки апиезонов.  
3 — Tellez J., Perez A. — Rev. Inst. Mex. Petrol. 1978, v. 10, N 1, p. 37—55. Асфальтены представляют собой сложную смесь в которую входят структуры, содержащие ароматические кольца, цикланы, алкильные радикалы, частично гидрированные ароматические структуры. Температура размягчения обычно выше комнатной.  
4 — Vernon F., Yacoub E. A. K. — J. Chromatogr. 1973, v. 86, p. 17—25. Молекула представляет собой ароматические кольца соединенные метиленовой группой в л-положении (7 колец).  
5 — Описано в той же работе. Для снижения минимальной температуры использования полистирол обрабатывают пластификатором.  
6 — Sandra P. e. a. — Int. Lab., 1980, v. 10, N 5, p. 57—62. Эластомер представляет собой полиолфин с разветвленной углеродной цепочкой. В цитируемой работе описано только использование этого эластомера для капиллярной хроматографии на стеклянных колонках.  
7 — Приведенные значения ВТП неподвижных фаз соответствуют работе колонки при этой температуре не более месяца. реальные ВТП должны быть на 50—70 °С ниже.  
8 — 1 г полиэтилена высокого давления растворим в 500 мл кипящего толуола, в раствор вносят подогретый до 80 °С носитель, весь процесс нанесения полиэтилена на носитель проводят при температуре кипения толуола.

Таблица II.2. Показатели избирательности неподвижных фаз углеводородной природы

A. Константы Мак-Рейнольдса

Неподвижная фаза	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Апиезоны: H	59	86	81	151	129	46	53	23	81	37
J	38	3	27	49	57	23	42	15	42	35
L	35	21	19	37	47	16	36	11	33	33
M	31	22	15	30	40	12	32	10	28	29
N	38	40	28	52	58	25	41	15	43	35
W	82	135	99	155	154	90	93	42	109	59
Битум	19	58	14	21	47	21	16	5	21	16
Жидкий парафин	11	6	2	7	13	2	12	2	9	9
Нуйол	9	5	2	6	11	2	9	2	6	6
Парафиновое масло	10	5	3	7	13	3	11	2	9	7
Полиизобутилен-32	21	29	24	42	40	18	24	8	40	24
Полиизобутилен-128	25	26	25	41	42	14	29	8	43	33
Сквалан	152	341	238	329	344	248	140	101	265	64
Montana wax	19	58	14	21	47	21	16	5	21	10

Сорбаты 1 — бензол, 2 — бутанол 1, 3 — пентанон 2, 4 — 1-нитропропан, 5 — пиридин, 6 — 2-метилпентанол 2, 7 — 1-нодбутан, 8 — октин 2, 9 — 1,3-диоксан, 10 — цис-гидриндан. Температура — 120 °С. Соответственно перечисленным сорбатам их индексы Ковача на сквалене равны: 653, 590, 627, 652, 699, 690, 818, 841, 654, 1006. Количество неподвижной фазы на хромосорбе W AW D MCS — 10%.

B Индексы Ковача некоторых сорбатов на углеводородных неподвижных фазах (обозначения сорбатов — см предыдущую часть таблицы)

Неподвижная фаза	1	2	3	4	5	Температура, °С
Апиезон М исходный, разные партии	684	611	642	682	739	120
	680	611	643	680	744	120
	682	611	642	682	739	120
гидрированный, разные партии	671	599	632	667	736	120
	674	600	634	670	729	120
	671	600	630	667	727	120

Продолжение

Неподвижная фаза	1	2	3	4	5	Температура, °С
АполанС <sub>87</sub>	678	594	633	671	732	140
	684	593	634	677	740	160
	691	593	634	683	748	180
	705	593	638	691	757	200
	674	600	630	664	724	120
	679	596	630	665	728	140
	684	594	631	671	735	160
	691	596	633	678	744	180
	705	596	635	684	753	200
Сквалан	653	590	627	652	699	120

Haken J. K., Vernon F. — J. Chromatogr., 1979, v. 186, N 1, p. 89—98.

В. Индексы Ковача сорбатов-тестов для трех неподвижных фаз при 180 °С

Сорбат	Апиезон L	Полистирол	Полибензиловый полимер
Анилин	1048	1348	1289
Ацетофенон	1130	1414	1381
Бензиловый спирт	1097	1422	1359
n-Бутилбензол	1108	1245	1224
Метилбензоат	1140	1412	1366
Нитробензол	1168	1467	1436

Vernon F., Yasoub E. A. K. — J. Chromatogr., 1973, v. 87, N 1, p. 17—25.

Г. Относительные коэффициенты активности (стандарт — бензол, температура — 50 °С) сорбатов на апиезонах различных марок

Сорбат	Апиезоны					
	A	B	C	J	L	M
n-Бутанол	5,1	6,7	3,6	4,1	1,03	5,0
Бутилацетат	2,28	2,00	1,91	2,28	2,10	2,60
Бутиронитрил	5,9	5,65	5,9	5,87	2,17	7,1
n-Гептан	1,48	1,44	1,51	1,67	1,84	1,64
Метилэтилкетон	2,75	2,50	2,18	2,25	0,92	2,58
Тетрахлорид углерода	1,08	1,00	1,04	1,13	1,14	1,12
Хлорбензол	1,18	1,22	1,29	1,28	1,28	1,31

Король А. Н. Неподвижная фаза в газожидкостной хроматографии, Киев, Наукова Думка, 1969. 250 с.

Д. Инкремент мольной теплоты растворения (в кДж/моль) на метиленовую группу в различных гомологических рядах

Неподвижная фаза	Алканы	Алканола	Альдегиды	Кетоны	Формиаты	Ацетаты	Эфиры
Апиезоны: J	4,12	3,87	3,54	3,55	3,32	3,41	3,67
L	4,68	3,87	3,83	3,92	3,77	3,86	3,99
M	4,40	3,97	3,19	3,99	3,59	3,75	3,65
N	4,65	3,66	3,09	3,86	3,60	3,70	3,92
Сквалан	5,13	5,13	3,19	3,00	3,27	3,10	4,18

Risby T. H., Jurs R. C., Reinbold B. L. — J. Chromatogr., 1974, v. 99, p. 173—181.

Е. Инкременты мольной теплоты растворения на отдельные функциональные группы в ациклических соединениях

Неподвижная фаза	—ОН	=О альд.	=О кетон	—ООН	—ООС <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	—О—
Апиезоны: J	13,09	13,78	10,93	13,96	18,36	4,31
L	14,29	13,87	13,07	14,66	18,38	6,19
M	14,32	15,99	12,50	13,95	18,00	7,14
N	16,42	17,50	14,20	16,15	19,27	7,52
Сквалан	13,83	20,38	20,81	20,83	25,63	9,58

Источник — см. предыдущий раздел.

Апиезоны обладают одним существенным недостатком: плохая воспроизводимость свойств, а трактовке данных удерживания мешает чрезмерно сложный состав апиезонов, о котором имеются лишь фрагментарные сведения. В состав апиезонов входят ароматические углеводороды и углеводороды с кратными связями; при гидрировании апиезонов получены неподвижные фазы, обладающие полярностью, близкой к полярности сквалана. Однако плохая воспроизводимость свойств характерна как для негидрированных, так и для гидрированных апиезонов, что видно из данных табл. II.2. Отечественная промышленность выпускает аналог апиезона L — смазку ВНИИНП. Следует отметить, что популярность апиезонов как неподвижной фазы в последние годы резко упала.

Для использования полимерных углеводородных неподвижных фаз в ГЖХ также имеются существенные препятствия: неопределенность молекулярно-массового распределения в полимере, мешающая получить неподвижную фазу с воспроизводимыми свойствами и ухудшающая эффективность колонки. В связи с этими соображениями перспективы использования полимеров типа полиэтилена и полипропилена как неподвижных фаз в ГЖХ не блестящи. В настоящее время имеется лишь одна производимая промышленностью неполярная неподвижная фаза высокой чистоты и с достаточно большим ВТП — аполан. Эту неподвижную фазу следует рекомендовать как стандартную. Для сравнительно низкотемпературных разделений можно рекомендовать сквалан, однако эту неподвижную фазу для получения воспроизводимых результатов необходимо предварительно очищать в хроматографической колонке с силикагелем. Опыт показывает, что сквалан стабильно работает лишь при температурах не выше 80 °С, при повышении температуры эта неподвижная фаза спонтанно разлагается с изменением избирательности.

В табл. II.3 даны характеристики удерживания органических соединений на неполярных неподвижных фазах.

Таблица П.3. Характеристики удерживания органических соединений

А Относительные молярные теплоты растворения и удельные объемы (стандарт — n-гептан)

Сорбат	$\Delta H^{\circ}_s$ на неподвижных фазах с числом атомов углерода						
	22	24	28	30	32	34	36
n Бутан	14,0	13,58	14,17	14,50	13,75	13,40	13,45
n-Пентан	8,95	8,70	8,85	9,10	8,70	8,85	8,95
n Гексан	4,45	4,45	4,60	4,60	4,25	4,40	4,70
n Гептан	0	0	0	0	0	0	0
n Октан	-4,30	-4,80	-4,70	-4,45	-4,70	-4,65	-4,45
n Нонан	—	-8,73	-7,40	-8,75	-6,70	-6,30	-7,50
n-Декан	-12,6	-13,3	-13,6	-14,2	-13,1	-13,0	-13,9
2-Метилбутан	10,7	10,4	10,5	10,7	10,5	10,4	10,7
2-Метилпентан	6,20	5,95	6,10	5,85	6,00	6,05	6,40
2-Метилгексан	1,70	1,70	1,65	1,75	1,65	1,65	1,90
2-Метилгептан	-2,45	-2,90	-2,80	-2,65	-2,65	-2,85	-2,60
3 Метилпентан	5,5	5,25	5,55	5,70	5,20	5,30	5,85
3-Метилгексан	1,40	1,25	1,40	1,45	1,15	1,25	1,70
3-Метилгептан	-2,95	-3,45	-3,10	-2,80	-3,20	-3,10	-2,85
4 Метилгептан	-2,80	-3,05	-3,15	-2,75	-2,90	-2,95	-2,45
2,2-Диметилбутан	7,95	7,75	8,25	8,25	7,85	8,00	8,15
2,3 Диметилбутан	6,60	6,40	6,70	6,80	6,44	6,35	6,75
2,2,3-Триметилбутан	3,85	3,55	3,70	3,95	3,60	3,75	4,20
2,2-Диметилпентан	3,85	3,70	3,85	4,20	3,85	3,95	4,20
2,3-Диметилпентан	1,90	1,85	1,95	2,00	1,70	1,90	2,40
3,3-Диметилпентан	2,90	2,60	2,85	2,95	2,50	2,80	3,10
2,2,4-Триметилпентан	1,35	1,10	1,35	1,40	1,15	1,25	1,65

Интервал температур от 80 до 120 °C

Примечание Неподвижные фазы наносили на промытый кислотой хромосорб Р. *Parcher J. F. e a — J Chem Eng Data, 1975, v 20, p 145—151*

на неполярных неподвижных фазах

удерживания парафинов на n-парафиновых неподвижных фазах

$V_g$ (мл/г) при 100 °C на неподвижных фазах с числом атомов углерода						
22	24	28	30	32	34	36
7,40	7,80	6,85	—	6,30	6,20	6,20
16,95	17,50	15,60	14,90	14,40	14,25	14,10
36,7	36,5	33,5	32,7	31,4	31,0	30,8
78,8	79,3	72,1	70,2	67,2	66,3	66,0
168,5	175	155	150	143	141	140
392	368	337	321	300	296	295
824	777	707	678	630	620	618
13,70	13,95	13,20	12,25	11,70	11,70	11,45
29,0	29,1	26,6	25,9	24,8	24,6	24,2
61,5	61,6	55,9	54,1	52,1	51,3	50,9
130	135	118	115	110	108	107
32,8	34,5	30,2	29,4	28,2	27,9	27,5
66,5	66,2	60,7	59,2	56,5	56,0	55,5
138	143	126	123	117	115	114
133	138	121	117	112	110	109
22,8	22,9	21,0	20,6	19,6	19,2	19,1
29,1	29,0	26,7	26,1	25,0	24,6	24,4
52,1	54,6	47,8	46,7	44,6	44,0	43,7
45,8	45,8	41,6	40,4	38,8	38,0	37,7
65,2	65,2	60,1	58,4	55,9	55,2	54,8
60,2	63,1	55,2	54,0	51,7	51,0	50,6
76,2	75,9	68,9	67,1	64,2	63,0	62,4

детектор — катарометр.

Б. Индексы Ковача органических соединений, рассчитанные для парафиновой неподвижной фазы с бесконечно большой молекулярной массой при 130 °С

Сорбат	Область температур, °С	Индекс	$\delta I/\delta T$
Пиридин	70—200	743,3	0,409
2-Пиколин	70—220	820,3	0,377
3-Пиколин	80—180	811,0	0,387
4-Пиколин	80—220	865,5	0,522
2,4-Лутидин	100—220	940,5	0,303
2,5-Лутидин	100—220	941,1	0,439
2,6-Лутидин	80—220	888,0	0,301
3,4-Лутидин	100—220	1010,6	0,518
3,5-Лутидин	120—220	983,1	0,367
2-Этилпиридин	100—220	902,8	0,364
3-Этилпиридин	100—220	956,0	0,491
4-Этилпиридин	100—220	958,3	0,477
2-Пролилпиридин	120—240	993,0	0,331
4-Пролилпиридин	120—240	1052,7	0,414
4-Изопролилпиридин	120—240	1099,5	1,016
1-Бромэтан	70—140	525,9	0,253
1-Бромпропан	70—160	633,7	0,312
1-Бромбутан	70—180	736,3	0,329
1-Бромпентан	100—200	837,4	0,334
1-Бромгексан	100—200	937,8	0,336
1-Бромгептан	120—200	1038,0	0,334
Дибромметан	80—160	724,0	0,479
Иодметан	80—160	554,2	0,185
1-Иодэтан	80—160	646,8	0,272
1-Иодпропан	80—160	756,0	0,426
1-Иодбутан	100—160	857,6	0,456
Бромбензол	120—160	984,3	0,609
Иодбензол	120—160	1107,1	0,965
Ацетон	70—140	430,0	—0,063
Бутанон-2	70—160	542,4	0,079
Пентанон-2	70—180	637,6	0,118
Гексанон-2	70—220	736,3	0,127
Гептанон-2	80—220	836,6	0,125
Деканон-2	110—240	937,7	0,119
Нонанон-2	140—240	1039,4	0,099
Пропионитрил	70—160	498,7	0,039
Бутиронитрил	70—180	595,7	0,020
Валеронитрил	70—180	700,9	0,022
Нитрилгексаноат	100—220	803,2	0,024
Нитрилгептаноат	100—240	904,0	0,024
Нитрилнонаноат	120—240	1004,1	0,028
Нитрилдеканоат	140—240	1103,7	0,030
1-Нитрометан	70—160	483,1	—0,113
1-Нитроэтан	70—160	578,0	0,211
1-Нитропропан	70—160	673,7	0,248
1-Нитробутан	70—180	771,6	0,258
1-Нитропентан	80—220	876,9	0,259
1-Нитрогексан	110—240	979,8	0,238
n-Пропанол	70—140	503,2	0,196
Бутанол-1	70—180	603,6	0,133
Пентанол-1	70—180	708,5	0,153
Гексанол-1	80—220	810,7	0,174
Гептанол-1	100—240	911,5	0,197

Продолжение

Сорбат	Область температур, °С	Индекс	$\delta I/\delta T$
Октанол-1	120—240	1011,6	0,218
Нонанол-1	140—240	1111,4	0,240
Пропанол-2	80—140	426,9	—0,257
Бутанол-2	80—160	550,7	—0,028
Гексанол-2	80—160	755,2	0,076
Гептанол-2	100—160	857,2	0,179
2-Метилпропанол-2	80—160	472,0	0,002
2-Метилбутанол-2	80—160	606,5	0,157
2-Метилпентанол-2	80—160	700,9	0,136
2-Метилгексанол-2	80—160	795,2	0,112
2-Метилгептанол-2	100—160	893,0	0,226
2-Метилгептан	80—160	773,3	0,063
Гексен-1	70—160	587,5	0,036
Гептен-1	70—200	686,8	0,034
Октен-1	70—220	786,4	0,034
Нонен-1	90—240	886,3	0,033
Децен-1	120—240	986,4	0,033
Ундецен-1	140—240	1086,5	0,033
Пентин-1	70—140	487,8	0,077
Гексин-1	70—160	589,4	0,038
Гептин-1	70—200	689,8	0,040
Октин-1	70—200	790,1	0,041
Нонин-1	80—240	890,4	0,040
Децин-1	120—240	990,6	0,040
Циклопентан	70—160	590,0	0,223
Циклогексан	70—220	699,3	0,337
Циклогептан	80—240	848,7	0,539
Циклооктан	120—240	977,8	0,684
Гидриндан, цис	120—200	1047,9	0,739
Гидриндан, транс	120—200	1012,8	0,694
Декалин, цис	120—200	1168,5	0,893
Декалин, транс	120—200	1124,2	0,833
Бензол	70—200	609,9	0,401
Толуол	70—200	797,9	0,355
Этилбензол	80—200	887,5	0,577
n-Пропилбензол	120—240	978,7	0,345
Нафталин	160—200	1259,3	0,778
Азулен	160—200	1381,4	0,896
Адамантан	120—200	1151,6	1,008
Фторбензол	80—160	678,5	0,303
Хлорбензол	100—160	884,3	0,490
Дихлорметан	80—160	513,6	0,081
Хлороформ	80—160	613,5	0,123
Тетрахлорид углерода	80—160	686,3	0,247
1-Хлорпропан	70—160	542,4	0,189
1-Хлорбутан	70—180	642,7	0,211
1-Хлорпентан	70—180	750,2	0,226
1-Хлоргексан	80—220	851,8	0,238
1-Хлоргептан	100—240	952,8	0,248
1-Хлороктан	100—240	1053,6	0,258
Диэтиловый эфир	70—140	476,9	0,038
Ди-n-пропиловый эфир	70—220	654,0	—0,051
Ди-n-бутиловый эфир	80—220	833,4	—0,022
Ди-n-пентиловый эфир	120—240	1052,0	—0,029
Метилацетат	70—140	465,3	—0,068
Этилацетат	70—140	541,7	—0,021

Продолжение

Сорбат	Область температур, °С	Индекс	$\delta I/\delta T$
n-Пропилацетат	70—160	641,2	-0,015
n-Бутилацетат	70—200	741,3	-0,014
n-Пентилацетат	80—220	841,7	-0,015
n-Гексилацетат	120—240	942,2	-0,017
n-Гептилацетат	140—240	1043,7	-0,020
Тетрагидрофуран	80—160	614,4	0,130
1,4-Диоксан	80—160	681,7	0,221
Тиофен	80—160	679,5	0,330

Примечание. Для экстраполяции к парафиновой неподвижной фазе с бесконечно большой молекулярной массой были использованы результаты экспериментального определения индексов Ковача на ряде парафиновых неподвижных фаз с различной молекулярной массой, составляющих гомологический ряд: 7,12-дигексилгексадекан; 11,16-дицилгексакозан; 15,20-дигетрадецилтетракозан; 19,24-диоктадецилтетракозан. Для вычисления экстраполированного значения использовали зависимость объема удерживания от обратной молекулярной массы неподвижной фазы.

Huber G. A. — These, N 166 (1973), Lausanne, 162 p.

## В. Индексы Ковача органических соединений на аполане

Сорбат	n	Область температур, °С	s	Индексы Ковача			$\delta I/T$
				70 °С	130 °С	190 °С	
Пиридин	18	90—130	3,42	705,9	728,3	750,7	3,73
2-Пиколин	20	90—230	3,41	786,6	805,4	824,8	3,23
3-Пиколин	11	110—190	2,24	826,8	848,0	869,2	3,54
4-Пиколин	16	90—230	2,51	823,2	846,7	870,2	3,91
2,4-Лутидин	12	130—230	2,68	903,4	922,7	942,0	3,22
2,5-Лутидин	15	130—230	1,71	903,2	922,3	941,4	3,18
2,6-Лутидин	20	110—210	3,58	863,8	876,1	888,4	2,05
3,4-Лутидин	9	150—210	5,78	—	992,3	1018,6	4,38
3,5-Лутидин	13	130—230	2,67	—	967,7	991,6	3,99
2-Этилпиридин	10	110—210	0,66	871,8	890,2	908,6	3,06
3-Этилпиридин	17	130—230	2,30	918,0	941,7	965,4	3,95
4-Этилпиридин	10	150—210	2,72	921,4	945,9	970,4	4,08
2-n-Процилпиридин	16	130—230	1,20	—	976,6	998,3	3,62
4-n-Процилпиридин	16	130—230	3,71	—	1034,7	1061,1	4,40
4-трет-Бутилпиридин	6	150—210	0,97	—	1073,3	1101,9	4,76
Бромэтан	11	50—170	0,49	509,6	523,0	—	2,24
1-Бромпропан	19	50—190	2,46	614,2	629,4	644,6	2,53
1-Бромбутан	22	50—210	0,81	716,8	732,7	748,6	2,65
1-Бромпентан	19	90—210	2,46	817,7	835,0	852,3	2,88
1-Бромгексан	14	130—210	1,00	918,3	936,4	954,5	3,02
1-Бромгептан	14	130—250	1,13	—	1036,2	1056,8	3,43

Продолжение

Сорбат	n	Область температур, °С	s	Индексы Ковача			$\delta I/\delta T$
				70 °С	130 °С	190 °С	
1-Бромоктан	14	130—250	0,88	—	1136,3	1157,6	3,55
1-Бромнонан	8	190—250	0,65	—	1235,2	1258,0	3,80
1-Бромдекан	5	210—250	1,05	—	1334,5	1358,0	3,92
Иодметан	14	50—150	0,30	528,6	548,8	569,0	3,36
1-Иодэтан	16	50—190	0,29	617,6	638,9	660,2	3,55
1-Иодпропан	20	70—210	0,57	720,3	743,8	767,3	3,92
1-Иодбутан	18	90—210	0,49	819,3	844,6	869,9	4,21
1-Иодпентан	18	110—250	1,32	917,8	944,6	971,4	4,47
1-Иодгексан	12	150—250	0,44	—	1045,1	1072,9	4,69
1-Иодгептан	10	170—250	0,52	—	1144,9	1173,6	4,79
1-Иодоктан	6	190—250	0,41	—	1247,2	1275,2	4,67
Дибромметан	20	90—210	3,67	681,7	706,2	730,7	4,08
Трибромметан	14	130—210	1,10	873,1	912,9	952,7	6,44
Бромбензол	26	110—250	0,94	925,8	961,1	996,4	5,89
Иодбензол	20	150—250	0,95	—	1081,1	1125,7	7,43
Бутанон-2	18	50—150	8,25	540,2	543,5	—	0,55
Пентанон-2	21	50—190	1,71	629,6	632,2	634,8	0,43
Гексанон-2	24	70—230	0,82	729,4	733,7	738,0	0,72
Гептанон-2	17	90—250	0,63	828,8	833,4	838,0	0,76
Октанон-2	12	150—250	0,68	927,9	932,2	938,5	0,88
Нонанон-2	12	150—250	0,35	—	1033,4	1039,5	1,02
Деканон-2	10	170—250	0,76	—	1134,4	1139,7	0,89
Ундеканон-2	8	190—250	0,45	—	1234,6	1240,4	0,96
Пропионитрил	16	50—190	8,14	587,4	593,6	599,8	1,03
Бутиронитрил	19	70—210	0,97	689,1	697,4	705,7	1,39
Валеронитрил	18	90—210	0,56	789,5	799,1	808,7	1,60
Нитрилгексаноат	16	110—230	0,62	888,2	899,7	911,2	1,91
Нитрилгептаноат	7	130—230	1,08	990,3	1001,3	1012,3	1,84
Нитрилоктаноат	17	150—250	2,34	—	1102,9	1114,7	1,97
Нитрилнонаноат	10	170—250	0,64	—	1202,9	1215,3	2,07
Нитрилдеканоат	7	190—250	0,15	—	1302,4	1315,6	2,20
Нитроэтан	12	50—170	2,15	563,7	578,6	—	2,48
1-Нитропропан	20	50—190	1,33	654,7	665,1	675,5	1,73
1-Нитробутан	15	90—230	0,68	754,6	767,2	779,8	2,10
1-Нитропентан	14	110—230	0,90	855,1	868,8	882,5	2,29
1-Нитрогексан	10	130—230	0,91	—	969,9	984,8	2,48
Бутанол-1	21	50—190	4,29	602,2	600,9	599,6	-0,22
Пентанол-1	26	70—190	1,67	700,3	701,9	703,5	0,27

Продолжение

Сорбат	n	Область температур, °С	s	Индексы Ковача			δI/δT
				70 °С	130 °С	190 °С	
Гексанол-1	25	90—230	0,57	798,0	803,6	809,2	0,94
Гептанол-1	19	130—250	1,45	898,3	905,6	912,9	1,22
Октанол-1	16	130—250	1,90	—	1006,6	1014,3	1,29
Нонанол-1	8	190—250	2,80	—	1110,9	1117,5	1,10
Пропанол-2	7	70—110	2,21	446,0	442,0	—	-0,66
Бутанол-2	13	70—150	2,32	547,9	552,0	—	0,69
Пентанол-2	18	70—230	1,7	643,6	648,2	652,8	0,77
Гексанол-2	21	90—230	1,99	742,4	748,0	753,6	0,94
Гептанол-2	22	110—230	0,87	841,8	848,0	854,2	1,04
Октанол-2	16	130—230	0,95	—	948,3	855,1	1,13
2-Метилпропанол-2	8	50—110	1,12	478,1	473,3	—	-0,80
2-Метилбутанол-2	14	50—190	1,12	596,6	600,9	605,2	0,71
2-Метилпентанол-2	17	90—230	3,11	688,8	693,8	698,8	0,83
2-Метилгексанол-2	17	90—230	0,90	782,4	788,3	794,2	0,99
2-Метилгептанол-2	15	110—230	0,98	879,9	885,8	891,7	0,99
2-Метилоктанол-2	12	150—230	1,46	—	986,5	988,3	0,97
2,2-Диметилпропан	—	30—230	—	406,4	409,0	411,6	0,44
2,2-Диметилбутан	22	50—150	0,76	535,1	541,2	—	1,01
2,3-Диметилбутан	14	50—150	0,51	567,9	573,2	—	0,89
2,2-Диметилпентан	15	70—190	0,79	624,2	627,7	631,2	0,58
2,3-Диметилпентан	15	50—170	0,85	674,3	679,9	685,5	0,94
2,2,3-Триметилбутан	16	50—170	1,28	641,5	653,1	664,7	1,93
2,2-Диметилгексан	12	70—210	0,24	715,8	719,6	723,4	0,64
2,3-Диметилгексан	12	90—210	0,13	761,0	766,0	771,0	0,84
2,4-Диметилгексан	18	90—210	0,61	729,6	733,4	737,2	0,63
3,4-Диметилгексан	13	90—190	0,71	774,0	780,4	768,8	1,06
2,3,4-Триметилпентан	15	90—210	0,42	755,5	765,6	757,7	1,68
2,2,4-Триметилпентан	13	90—210	0,33	788,6	694,8	701,0	1,68
2,2-Диметилгептан	17	90—120	0,70	811,6	815,8	820,0	0,70
2,2,4,6,6-Пентаметилгептан	11	130—250	2,10	—	990,5	1002,9	2,07
Пентен-1	9	50—150	0,51	482,5	483,9	—	0,27
Гексен-1	14	50—190	0,74	584,5	585,3	586,1	0,14
Гептен-1	16	50—230	1,23	683,6	685,2	686,8	0,26
Октен-1	19	110—250	1,92	783,7	784,7	785,9	0,19
Нонен-1	21	110—250	1,52	883,4	885,0	886,6	0,26
Децен-1	22	130—250	0,76	—	984,6	986,6	0,34
Ундецен-1	18	130—250	0,99	—	1084,3	1086,6	0,38
Додецен-1	14	170—250	0,53	—	1184,3	1186,6	0,38

Продолжение

Сорбат	n	Область температур, °С	s	Индексы Ковача			δI/δT
				70 °С	130 °С	190 °С	
Тридецен-1	8	190—250	1,39	—	1284,4	1286,9	0,42
Пентин-1	13	50—130	1,02	484,5	484,9	—	-0,06
Гексин-1	13	50—130	0,95	587,3	587,6	587,9	0,05
Гептин-1	18	50—230	1,49	687,1	688,4	689,7	0,22
Октин-1	27	90—250	3,06	785,8	788,3	790,8	0,42
Нонин-1	18	110—250	1,78	885,3	888,0	890,7	0,45
Децин-1	16	130—250	1,97	—	986,7	990,6	0,65
Циклопентан	15	50—130	0,59	575,9	588,3	—	2,06
Циклогексан	22	50—210	0,99	675,6	694,5	713,4	3,15
Циклогептан	18	90—190	1,99	811,6	838,8	866,0	4,54
Циклооктан	16	130—230	0,50	—	966,9	999,2	5,38
Циклодекан	8	190—250	0,61	—	1180,0	1223,1	7,19
Циклододекан	8	190—250	0,40	—	1362,7	1412,6	8,32
Гидриндан, цис	19	130—250	1,29	—	1034,9	1072,8	6,32
Гидриндан, транс	11	130—250	2,11	—	1090,3	1035,3	5,83
Декалин, цис	12	170—250	0,53	—	1153,9	1198,7	7,47
Декалин, транс	12	170—250	0,47	—	1112,2	1153,4	6,86
Бензол	24	50—230	2,47	659,2	678,8	698,4	3,27
Толуол	25	70—250	2,22	766,8	786,5	806,2	3,29
Этилбензол	24	90—250	1,57	855,2	875,9	896,6	3,45
n-Пропилбензол	21	130—250	2,03	943,0	965,0	987,0	3,66
n-Бутилбензол	18	150—250	0,78	—	1064,8	1087,0	3,70
n-Пентилбензол	16	170—250	2,85	—	1162,0	1183,9	3,65
n-Гексилбензол	13	190—250	1,35	—	1257,7	1281,2	3,91
Тетрагидронафталин	11	190—250	1,25	—	1189,7	1231,1	6,90
Нафталин	12	190—250	0,93	—	1215,4	1264,8	8,23
Азулен	6	190—250	0,04	—	1331,2	1388,9	9,62
Адамантан	14	170—250	0,38	—	1137,6	1189,5	8,65
Фторбензол	24	50—230	1,70	651,3	665,9	680,5	2,44
Хлорбензол	27	90—250	1,20	838,4	866,1	893,8	4,61
Дихлорметан	13	50—170	0,94	497,9	509,1	—	1,86
Хлороформ	18	50—210	1,66	595,2	610,3	625,4	2,51
Тетрахлорид углерода	22	70—210	1,22	663,1	681,8	701,5	3,12
1-Хлорпропан	12	50—170	0,82	526,9	536,4	545,9	1,58
1-Хлорбутан	19	50—190	1,51	630,4	641,4	652,4	1,84
1-Хлорпентан	19	90—230	0,89	732,2	743,3	754,4	1,85
1-Хлоргексан	17	110—230	0,93	833,3	844,8	856,3	1,91
1-Хлоргептан	14	130—230	1,28	934,5	946,3	958,1	1,97
1-Хлороктан	12	150—230	0,32	—	1047,4	1059,5	2,02
1-Хлорнонан	8	190—230	0,08	—	1146,3	1160,3	2,33
1-Хлордекан	7	190—230	0,10	—	1246,9	1260,9	2,34
Диэтиловый эфир	11	70—130	0,98	482,6	470,7	—	-1,99
Ди-n-пропиловый эфир	24	50—190	1,29	659,0	655,2	651,4	-0,64
Ди-n-бутиловый эфир	20	110—210	1,20	858,0	855,1	855,2	-0,49
Ди-n-пентиловый эфир	8	170—250	0,49	—	1053,0	1051,0	-0,34
Тетрагидрофуран	16	50—170	1,92	602,6	612,9	623,2	1,71
1,4-Диоксан	17	50—170	1,58	660,3	675,0	689,7	2,45
Тиофен	17	50—190	3,23	664,6	685,3	706,0	3,45

Примечания. n — число опытов, проведенных по определению данных удерживания в указанных температурных пределах, s — среднее отклонение от линейных зависимостей в ед. индексов; δI/δT — изменение индекса Ковача при увеличении температуры колонки на 10 °С. В качестве твердого носителя использован силикагелированный хромсорб С. Неподвижная фаза нанесена на носитель в отношении 10—14 90—86, длина колонки 240 см, пробу вводили в количестве 0,05 мг на компонент за исключением пиридина, для которого понадобилось вводить около 0,2 мг пробы. Опыты проводили при температурах, отличающихся на 20 °С. Детектор — пламенно-ионизационный.

Г. Характеристики избирательности трех парафиновых неподвижных фаз

Сорбат	r		
	Сквалан	Аполан	ПИБ
n-Нонан	6,95	7,06 (6,84)	7,35
Толуол	1,58	1,91 (1,94)	1,93
Хлороформ	0,295	0,335	0,380
Этилацетат	0,285	0,58	0,81
Метилэтилкетон	0,275	0,615	0,89
Пентаналь	0,60	0,70	1,26
n-Пропанол	0,265	0,39	0,90
Нафталин	—	2,11 (2,11)	2,14
Пиридин	—	0,12	0,12
Бензальдегид	—	0,435	0,665
Нитробензол	—	0,833	1,04
n-Деканол	—	1,91	2,03

Примечания. Стандарт — n-гептан, температура 50 °С, для сорбатов, начиная 2000. Значения r для аполана в скобках — литературные данные. Величина A\* указывает на нанесен на хроматон N AW HMDS.  
Korol A. N. — J. Chromatogr., 1979, v. 172, N 1, p. 77—83.

ЛИТЕРАТУРА

1. Huber G. A., Kovats E. — Anal. Chem., 1973, v. 45, N 6, p. 1155—1175
2. Korol A. N., Doubush T. I. — J. Chromatogr., 1981, v. 209, N 1, p. 21—28.

Глава 2

СИЛИКОНОВЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ

Силиконовые неподвижные фазы наиболее распространены в практике газохроматографического анализа. Они обладают высокой термостабильностью и, вследствие разветвленной структуры молекулы, — сравнительно низкой температурой плавления. Сначала в ГЖХ использовали, в основном, технические продукты, которые выпускались промышленностью. Этим объясняется большое число применяемых марок силиконовых неподвижных фаз, несмотря на то что свойства многих продуктов идентичны (табл. II.4—II.7). Кроме того, технические продукты

$\Delta H^{\circ}_s$			$\Gamma^{\circ}$			A*		
Сквалан	Аполан	ПИБ	Сквалан	Аполан	ПИБ	Сквалан	Аполан	ПИБ
—8,75	—10,0	—10,85	6,75	5,50	4,95	0	0	0
—0,85	—1,65	—1,25	2,90	3,60	4,15	0	0	0
7,30	8,80	7,75	—2,34	0,33	0,25	0	0	0
5,45	2,30	—0,85	—4,65	—2,05	—2,63	0,3	0,7	0,7
6,25	10,7	—	—4,0	10,3	—	0,4	0,9	1,3
—0,65	—1,65	—5,85	—11,1	—4,70	—4,35	0,1	0,1	0,3
5,85	5,00	—1,25	—4,75	—4,95	2,30	0,8	0,6	0,6
—	2,70	3,15	—	6,65	6,85	—	0	0
—	30,1	39,9	—	—12,5	—11,4	—	0,3	0,5
—	8,35	9,80	—	—5,50	—1,70	—	0,03	0,15
—	0,21	0,63	—	—1,46	0,85	—	0,03	0,10
—	—2,50	—1,25	—	4,95	5,65	—	0,05	0,10

с нафталина, стандарт — n-ундекан, температура 150 °С. ПИБ — полиизобутилен, м. м. на степень криволинейности изотермы сорбции. Неподвижная фаза 5% от массы носителя

содержат следы использованных при их синтезе катализаторов, которые существенно снижают верхнюю температуру использования жидкости. Полидисперсность технических продуктов снижает эффективность колонки. Удельный объем удерживания зависит от молекулярной массы неподвижной фазы, и, следовательно, набор силиконов с различной молекулярной массой приводит к расширению хроматографической зоны. В последние два десятилетия были предложены неподвижные силиконовые фазы, синтезированные специально для ГЖХ. Именно на эти соединения целесообразно ориентироваться при разработке методик анализа. Однако многие методики были разработаны на основе технических силиконов, и поэтому необходимо иметь таблицы, показывающие избирательность технических продуктов. Сравнение избирательности технических и чистых силиконовых неподвижных фаз позволяет заменить техническое вещество чистым при сохранении необходимых параметров избирательности для компонентов исследуемой смеси.

Следует отметить, что силиконовые эластомеры рационально использовать в капиллярных колонках, поскольку они образуют более однородную пленку на поверхности стекла.

Таблица П.4. Состав и температурные пределы использования силиконовых неподвижных фаз

Марка	Состав	НТП, °С	ВТП, °С	Раствори- тель
ВКЖ-94	Этилсиликон, м. м. 780	—	150	Э
НПС-50	Цианэтил (25%) метилсиликон, м. м. 1200	—	200	А
НПС-100	Цианэтил (50%) метилсиликон, м. м. 1300	—	180	А
НСКТ-25	Цианэтил (12,5%) метилсиликоновый эластомер	—	250	Э
НСКТ-33	Цианэтил (16,7%) метилсиликоновый эластомер	—	250	А
НСКТ-50	Цианэтил (25%) метилсиликоновый эластомер	—	250	А
НСКТ-100	Цианэтил (50%) метилсиликон	—	250	А
НФС-100	Трифторпропил (50%) метилсиликон	—	300	А
ПМС-100	Метилсиликон, м. м. 5000	20	200	Х, Г, Т
ПМС-200	Метилсиликон	—	—	—
ПМС-400	Метилсиликон, м. м. 780	—	—	—
ПМС-500	Метилсиликон	—	—	—
ПМС-30000	Метилсиликон	—	—	—
ПФМС-2	Фенилметилсиликон	—	—	Э
ПФМС-4	Фенил (50%) метилсиликон, м. м. 1500	20	200	Х, А
ПФМС-6	Фенил (50%) метилсиликон, м. м. 2000	»	250	Х, А
СКТВ (Т)	Метилсиликоновый эластомер	—	—	—
СКТ	Метилсиликоновый эластомер	—	350	Х
СКТфенокси	Фенокси (13%) метилсиликон	—	350	Х
СКТА-1	Фенил (29%) метилсиликон	—	350	Х
СКТВ	Винил (0,04%) метилсиликоновый эластомер	—	350	Х
СКТВ-1	Винил (0,18%) метилсиликоновый эластомер	—	350	Х
СКТН	Метилсиликон	—	300	Х
СКТНФТ-50	Фенил (25%) метилсиликон	—	—	—
СКТФ-100	Фенил (50%) метилсиликоновый эластомер	—	—	Т
СКТФВ-803	Фенил (4%) винил (0,15%) метилметил- силиконовый эластомер	—	300	Т, Г, Б
СКТФТ-25	Трифторпропил (12,5%) метилсиликон	—	350	А
СКТФТ-33	Трифторпропил (16,7%) метилсиликон	—	350	А
СКТФТ-50	Трифторпропил (25%) метилсиликон	—	350	А
СКТФТ-50Х	Трифторпропил (25%) метилсиликоно- вый эластомер	—	400	А
СКТФТ-75	Трифторпропил (37,5%) метилсилико- новый эластомер	—	400	А
СКТФТ-100	Трифторпропил (50%) метилсиликоно- вый эластомер	—	350	А
СКТФТ-100Х	Трифторпропил (50%) метилсиликон	—	350	А
СКТЭ тип А	Этил (8%) метилсиликоновый эласто- мер	—	270	Э, Т
ФМ-6	Фенилметилсиликон	—	—	—
ФС-5/260	Трифторпропилметилсиликон	—	220	Э
ФС-16	Трифторпропилметилсиликон	—	150	Э
ФС-169	Трифторпропилсиликон	—	200	Э
ФС-303	Трифторпропилметилсиликон	—	200	Э
ХС-2-1	Хлорфенилметилсиликон	—	200	Х
DC-11 (США)	Метилсиликон с 10% SiO <sub>2</sub>	20	300	Б, Т, Х

Продолжение табл. П.4

Марка	Состав	НТП, °С	ВТП, °С	Раствори- тель
DC-200/50	Метилсиликон	—	200	Т, Х
DC-200/350	»	20	200	К, А
DC-200/12500	»	»	250	К, А
DC-200/2500000	»	—	250	К, А
DC-220	»	—	200	Т, Х
DC-230	Стеарилметилсиликон	—	—	К, А
DC-330	Метилсиликон	—	—	К, А
DC-400	Метилсиликоновый эластомер	—	275	Х
DC-401	—	—	—	—
DC-410	Эластомер	20	300	Х
DC-430	Винил (1%) метилсиликон	»	300	Т, Х
DC-510	Фенил (5%) метилсиликон	—	—	—
DC-550	Фенил (25%) метилсиликон	20	225	Х, А
DC-555	Фенил (10%) метилсиликон	—	200	Х
DC-556	Фенил (10%) метилсиликон	—	200	Х
DC-460	Хлорфенил (11%) метилсиликон	20	250	Х, А
DC-701	Фенил (11%) метилсиликон	—	200	Х
DC-702	Фенил (25%) метилсиликон	—	200	Х, А
DC-703	»	20	—	Х, А
DC-704	Фенил (50%) метилсиликон	»	180	Х, А
DC-705	Фенил (62,5%) метилсиликон	—	200	Х, А
DC-710	Фенил (50%) метилсиликон	20	220	Х, А
DC-730	Этилсиликон	—	—	—
E-301 (Англия)	Метилсиликоновый эластомер	—	250	Т, Х, Г
E-302	Винил (1%) метилсиликоновый эла- стомер	—	250	Х
E-303	То же	—	250	Х
E-350	Фенил (5%) метилсиликоновый эла- стомер	—	250	Х
E-351	Фенил (5%) винил (1%) метилсилико- новый эластомер	—	250	Х
Embaphase si- licone oil	Метилсиликон	—	240	Х, Т
GI 7000FF	»	—	—	—
(ГДР)	»	—	—	—
GI 7100FF	»	—	—	—
GI 7300F	Метилвинилсиликон	—	—	—
GI 7500F	Фенилметилсиликон	—	—	—
GE SE-30	Метилсиликоновый эластомер, (США) м. м. 1—2,5000000	50	250	Х, Т
GE SE-30	Метилсиликоновый эластомер	50	300	Х, Т
G. C. Grade	—	—	—	—
GE SE-30	Метилсиликоновый эластомер, эте- рифицированный неопентилгликоль- адипинатом	—	240	Х
polyester	—	—	—	—
GE SE-31	Винил (1%) метилсиликон	—	300	Х, Т
GE SE-33	Винил (1%) метилсиликон	—	300	Х, Т
GE SE-52	Фенил (1%) метилсиликон	50	300	Х, Т
GE SE-54	Фенил (5%) винил (1%) метилсиликон	50	300	Х
Lukoil	Метилсиликон	—	170	Х, Т
(ЧССР) M100	»	—	—	—
Lukoil M200	»	—	170	Х, Т
Lukoil M500	»	—	170	Х, Т
Lukoil MF	Фенил (25%) метилсиликон	—	170	Х, А
Lukoil DF	Фенил (50%) метилсиликон	—	170	Х, А

Продолжение табл П 4

Марка	Состав	НТП, °С	ВТП, °С	Раствори- тель
Lukooil X100	Трихлорфенил(4,1%) метилсиликон	—	—	—
Lukooil X200	Трихлорфенил(5,5%) метилсиликон	—	—	—
Lukooil X600	Трихлорфенил(8,3%) метилсиликон	—	—	—
Lukorpen G1000	Винилметилсиликоновый эластомер	—	300	X
Lukorpen M50	Метилсиликоновый эластомер	—	—	—
MS-200 (Анг- лия)	Метилсиликон	—	200	T, Г
MS-510	Фенил(5%) метилсиликон	—	200	T, Г, А
MS-550	Фенил(25%) метилсиликон	—	200	X, А
MS-555	Фенил(10%) метилсиликон	—	200	X
MS-710	Фенил(50%) метилсиликон	—	200	X, А
NG-100 (I DP)	Метилсиликон	—	300	X
NG-300	Винилсиликон	—	—	—
NM-1-50	Метилсиликон	—	—	—
NM-1-200	Фенил(3%) метилсиликон	—	—	—
NM-3-200	Фенил(3,3%) метилсиликон	—	160	X
NM-4500	Фенил(25%) метилсиликон	—	180	X, А
NM-5-500	Фенил(33%) метилсиликон	—	220	X, А
OE-4006	Фенил(75%) метилсиликон	—	—	—
OE-4007	Фенил(62,5%) метилсиликон	—	200	A
OE-4008D	Фенил(50%) метилсиликон	—	180	X, А
OE-4011	Фенил(33%) метилсиликон	—	—	—
OE-4129	Фенил(25%) метилсиликон	—	180	X, А
OE-4130	Фенил(3,3%) метилсиликон	—	—	—
OE-4178	Цианпропил(37,5%) метилсиликон	—	250	A
OE-4910	Цианэтилметилсиликоновый эласто- мер	—	—	—
Oronite OD-1	Метилсиликоновый эластомер	—	375	X
OV-1 (США)	Метилсиликоновый эластомер, м. м. 3—400000	100	300	X, T, Г
OV-3	Фенил(10%) метилсиликон, м. м. 20 000	20	300	X, T, А
OV-7	Фенил(20%) метилсиликон, м. м. 10 000	»	300	X, T, А
OV-11	Фенил(35%) метилсиликон, м. м. 4000	»	300	X, А
OV-17	Фенил(50%) метилсиликон, м. м. 4000	»	300	X, А
OV-22	Фенил(65%) метилсиликон, м. м. 8000	»	300	X, А
OV-25	Фенил(75%) метилсиликон, м. м. 10 000	»	300	X, А
OV-61	Фенил(33%) метилсиликон, м. м. 40 000	»	350	X, А
OV-101	Метилсиликон, м. м. 30 000	»	300	X, А
OV-210	Трифторпропил(50%) метилсиликон, м. м. 200 000	20	275	X, А
OV-225	Фенил(25%) цианпропил(25%) метил- силикон, м. м. 8000	»	250	X, А
OV-275	Дицианоаллилсиликон	25	250	A
OV-330	Силикон-карбовакс	0	250	A, T
OV-351		50	270	X
OV-1701	Винилсиликон	0	250	A
SE-30	Метилсиликоновый эластомер	50	350	X, T
SF-96/1000	Трифторметилсиликон	20	300	X
SF-96/2000	Трифторметилсиликон	»	250	X
SF-1125	Нитрилсиликон	—	200	X, А
Supelco (США)	Метилсиликон	20	350	X
SP-2100				

Продолжение табл П 4

Марка	Состав	НТП, °С	ВТП, °С	Раствори- тель
SP-2250	Фенил(50%) метилсиликон	—	350	X
SP-2300	Цианпропил(50%) фенилсиликон	20	275	X, А
SP-2310	Цианпропилметилсиликон	»	275	X, А
SP-2330	Цианпропилсиликон	»	275	X, А
SP-2340	Цианпропилсиликон	»	275	X, А
SP-2401	Трифторпропил(50%) метилсиликон	»	250	A
UC L-45 (США)	Метилсиликон	»	300	T, X
UC L-46	Метилсиликон	»	250	T
UC L-525	Фенилметилсиликон	—	200	X
UC W95	Метилсиликон	—	—	—
UC W-950	Метилсиликон	—	—	—
UC W-96	Винил(1%) метилсиликон	20	300	X, T
UC W-960	Винил(1%) метилсиликон	—	300	X, T
XE-60	Цианэтил(25%) метилсиликон	—	250	X, А
XE-61	Фенил(33%) нитрилсиликон	—	300	A
XF-1105	Цианэтил(5%) метилсиликон	—	200	X, А
XF-1112	Цианэтил(12%) метилсиликон	—	150	X, А
XF-1125	Цианэтил(25%) метилсиликон	—	200	X, А
XF-1130	Фенил(30%) метилсиликон	—	200	X, А
XF-1135	Фенил(35%) метилсиликон	—	200	X, А
XF-1150	Фенил(50%) метилсиликон	—	200	X, А
XF-1165	Фенил(65%) метилсиликон	—	200	X, А

Примечание. ВТП приведенных в таблице силиконовых неподвижных фаз достаточно надежна лишь для серии силиконов OV; остальные данные могут рассматриваться как максимально допустимые, однако целесообразно не превышать значений 300 °С. Данные по силиконам серии СКТФГ, по-видимому, завышены.



Таблица II.6. Свойства и показатели избирательности силиконовых неподвижных фаз, не предназначенных специально для ГЖХ

Марка	Вязкость $\eta \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с	М	Плот- ность, г/мл	Константы Роршайдера					Константы Мак-Рейнольдса										
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Метилсиликоны																			
Bayer M	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	57	45	66	43	33	—	—	—	—
DC-11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	86	48	69	56	36	—	—	—	—
DC-200	70 000	—	0,97	0,16	0,20	0,50	0,85	0,48	—	16	57	45	66	43	33	—	—	—	—
DC-330	50	—	—	—	—	—	—	—	—	13	51	42	61	36	31	—	—	—	—
DC-400	10 <sup>13</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	15	56	44	66	40	32	—	—	—	—
DC-401	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	58	47	68	46	34	—	—	—	—
DC-410	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	57	47	68	44	34	—	—	—	—
E-300	10 <sup>13</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	15	56	44	66	40	32	—	—	—	—
E-301	350	—	—	—	—	—	—	—	—	16	55	44	65	44	32	—	—	—	—
Embaphase oil	70 000	—	0,97	0,16	0,20	0,50	0,85	0,48	—	14	57	45	66	43	33	—	—	—	—
F-111	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	57	45	66	43	33	—	—	—	—
Hivac Grease	—	—	—	1,05	1,50	1,61	2,51	1,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hivac Grease	—	—	—	0,16	0,20	0,50	0,85	0,48	—	16	57	45	66	43	33	—	—	—	—
extract	12 500	—	—	—	—	—	—	—	—	16	57	45	66	43	33	—	—	—	—
MS-2211	10 <sup>13</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	15	56	44	66	40	32	—	—	—	—
SE-30	10 <sup>7</sup>	—	0,966	0,16	0,20	0,50	0,85	0,48	—	16	55	44	65	42	32	—	—	—	—
SE-30 ultrafase	10 <sup>7</sup>	—	0,966	0,16	0,20	0,50	0,85	0,48	—	16	55	44	65	42	32	—	—	—	—
SE-31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	54	45	65	43	32	—	—	—	—
SE-33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	54	45	67	42	33	—	—	—	—
SF-96	70 000	—	—	0,15	0,20	0,48	0,82	0,47	—	14	53	42	61	37	31	—	—	—	—
SF-96/200	2 <sup>10</sup>	—	0,972	0,15	0,20	0,48	0,82	0,47	—	14	53	42	61	37	31	—	—	—	—
SF-96/2000	20 <sup>20</sup>	—	0,974	0,15	0,20	0,48	0,82	0,47	—	14	53	42	61	37	31	—	—	—	—
Silastic 401	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	58	47	68	46	34	—	—	—	—
UC L-45	70 000	—	—	—	—	—	—	—	—	16	57	45	65	43	33	—	—	—	—
UC L-46	70 000	—	—	—	—	—	—	—	—	16	56	44	65	41	33	—	—	—	—
UC W-982	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	55	45	66	42	33	—	—	—	—
Viscasil	100 000	103 000	0,978	—	—	—	—	—	—	16	57	45	66	43	33	—	—	—	—
Фенилметилсиликоны																			
AR-20	200	—	1,04	—	—	—	—	—	—	32	72	65	98	67	44	—	—	—	—
DC-510	50—1000	—	1,00	—	—	—	—	—	—	25	65	60	89	57	42	—	—	—	—
DC-556	15—30	—	—	—	—	—	—	—	—	37	77	80	118	79	53	—	—	—	—
DC-550	100—150	—	1,07	—	—	—	—	—	—	74	116	117	178	135	81	—	—	—	—
DC-701	10—15	—	1,03	—	—	—	—	—	—	77	124	126	189	142	90	—	—	—	—
DC-702	45	—	—	—	—	—	—	—	—	77	124	126	189	142	90	—	—	—	—
DC-703	55	—	—	—	—	—	—	—	—	76	123	126	189	140	89	—	—	—	—
DC-710	500	2700	1,10	1,05	1,50	1,61	2,51	1,90	107	149	153	228	191	170	108	—	—	—	—
E-350	—	—	—	1,37	1,73	1,87	2,85	2,23	133	169	176	258	219	123	—	—	—	—	—
E-351	—	—	—	—	—	—	—	—	33	72	66	98	67	46	—	—	—	—	—
SE-52	—	—	—	—	—	—	—	—	32	72	65	98	67	44	—	—	—	—	—
SE-54	—	—	0,98	—	—	—	—	—	33	72	66	98	67	46	—	—	—	—	—
SR-119	—	—	—	—	—	—	—	—	166	238	221	314	299	175	—	—	—	—	—
Хлорфенилсиликоны																			
DC-560	75	—	—	0,33	0,49	0,82	1,08	0,83	32	72	70	100	68	49	24	35	69	7	—
F-60	63	—	—	0,33	0,49	0,82	1,08	0,83	32	72	70	100	68	49	—	—	—	—	—
F-61	500	—	—	0,31	0,49	0,82	1,08	0,83	32	72	70	100	68	49	72	70	100	—	—
Versitub F-50	70	—	1,045	—	—	—	—	—	19	57	48	69	47	36	27	23	50	—	—
Цианалкилсиликоны																			
XE-60	—	—	—	2,08	3,85	3,62	5,33	3,45	204	381	340	493	367	289	—	—	—	—	—
XF-1105	—	—	—	2,08	3,85	3,62	5,33	3,45	204	381	340	493	367	289	—	—	—	—	—
XF-1112	—	—	—	3,18	5,33	3,81	7,02	5,04	308	521	470	659	528	401	302	174	471	156	—
Фторалкилсиликоны																			
LSX-330295	—	—	—	—	—	—	—	—	—	152	241	366	479	319	208	144	55	291	69
QF-1	—	25 000	—	1,41	2,13	3,55	4,73	3,01	144	233	355	463	305	203	136	53	280	59	—
Силиконы отечественного производства																			
ДФОК	—	—	—	1,18	1,64	1,69	1,56	1,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
НСКТ-25	—	—	—	1,05	2,44	1,57	2,11	1,98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



Марка	R-CH <sub>3</sub>	R-CH <sub>2</sub> -R'	R-OH	R=C-O	Ar	R-NO <sub>2</sub>	N
Silar 5CP	0,21	4,45	25,3	27,7	5,20	30,9	12,0
Silar 10C	0,75	3,85	27,7	28,7	5,45	32,9	20,7

N — инкремент на атом азота в гетероциклических соединениях, Ar — инкремент на ароматическое кольцо.  
Reinbold B. L., Risby T. H. — J. Chromatogr. Sci., 1975, v. 13, p. 372.

В общем силиконы выдерживают нагревание в присутствии кислорода до 150 °С; они разрушаются в присутствии сильных щелочей и кислот.

Высокая термостабильность и изменение полярности силиконовых неподвижных фаз в широком диапазоне (практически от 5 до 100% по шкале Роршнайдера) указывают на перспективность использования этого класса соединений как неподвижных фаз в ГЖХ. Если учесть, что неполярные неподвижные фазы можно применять лишь до 260 °С, то для более высоких температур можно использовать только силиконовые неподвижные фазы. Кроме того, стоимость стандартной неподвижной фазы углеводородной природы — аполана — в десятки раз выше, чем малополярного метилсиликона высшей степени очистки. Поэтому для большинства аналитических разделений можно рекомендовать в качестве стандартной неполярной неподвижной фазы метилсиликон серии OV или SP. Поскольку молекулярная масса этих силиконовых неподвижных фаз достаточно велика, незначительная их полидисперсность не оказывает существенного влияния на результаты эксперимента и эффективность колонки.

В капиллярной хроматографии используют эластомерные силиконы, поскольку при повышении температуры колонки эти силиконы хорошо смачивают поверхность колонки. Капиллярные колонки с метилсиликоновыми эластомерами стабильны до 300 °С, в качестве неподвижных фаз рекомендуются: OV-1 или менее чистые вещества E-301, SE-30, SE-52, SE-54. Имеются сообщения о выпуске фенилметилсиликоновых эластомеров, имеющих селективность, близкую к селективности OV-17.

Силиконовые неподвижные фазы средней (фенилсодержащие) и высокой (с нитрильными группами) полярности обладают высокими значениями ВТП. Силиконы с нитрильными группами обладают максимально возможной полярностью при наибольшем значении ВТП.

Особенно высокой термостойкостью обладают карборансиликоновые неподвижные фазы (Дексилы): их ВТП составляет 350—400 °С. Отечественной промышленностью выпускается подобного типа неподвижная фаза — силбор-1, ВТП которой 350 °С.

В табл. II.8 даны характеристики удерживания органических соединений на силиконовых неподвижных фазах.

Таблица II.8. Характеристики удерживания органических соединений на силиконовых неподвижных фазах  
А. Удельные объемы удерживания органических соединений

Сорблат	OV-1					SE-30						
	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С	80 °С	30 °С	40 °С	50 °С	60 °С	70 °С	80 °С
n-Пентан	70,00	50,29	36,87	27,55	20,93	15,98	69,25	49,75	36,48	26,25	20,70	16,16
n-Гексан	163,8	126,4	88,47	63,28	46,15	34,28	183,4	125,2	87,48	62,47	45,50	33,75
n-Гептан	489,0	317,3	211,4	144,4	100,8	71,84	486,0	314,8	209,4	142,8	99,57	70,88
n-Октан	1296	796,4	504,5	328,5	219,3	149,9	1290	791,3	503,3	325,2	216,7	147,8
n-Нонан	3435	1998	1202	745,8	475,7	311,4	3428	1989	1194	738,9	470,2	307,2
n-Декал	9082	5020	2879	1707	1043	656,0	9081	5003	2867	1691	1031	648,5
2,2-Диметилбутан	98,42	69,94	50,76	37,58	28,28	21,65	97,63	69,31	50,25	37,15	27,95	21,37
2,3-Диметилбутан	131,6	92,15	65,96	48,17	35,83	27,11	131,1	91,36	65,10	47,34	35,67	26,43
2,2-Диметилпентан	237,4	160,2	110,8	78,35	56,52	41,55	235,7	158,9	109,8	77,52	55,88	41,04
2,3-Диметилпентан	368,4	243,3	164,8	114,3	80,98	58,52	364,6	240,4	162,6	112,6	79,71	57,53
3,3-Диметилпентан	252,3	169,3	116,4	81,90	58,80	43,03	251,6	168,3	115,5	81,05	58,06	42,40
2,4-Диметилпентан	319,8	231,6	146,2	102,4	73,21	53,37	317,9	211,9	144,8	101,3	72,30	52,63
2,2,4-Триметилпентан	447,6	292,8	196,6	135,2	95,07	68,20	445,2	290,7	194,9	133,9	93,95	67,31
2,3,4-Триметилпентан	802,0	509,0	332,3	222,5	152,5	106,9	795,2	503,9	328,4	210,7	150,4	105,2
2,2,5-Триметилпентан	1150	707,7	449,0	292,7	195,7	113,9	1138	700,3	444,0	289,4	193,3	132,2
Пентен-2, цис	79,51	56,58	41,12	30,46	22,96	17,59	78,64	56,11	40,88	30,36	22,93	17,61
Пентен-2, транс	73,07	52,38	38,32	28,57	21,67	16,70	73,63	52,58	38,31	28,45	21,51	16,52
Гексен-1	268,4	115,5	81,14	58,21	42,57	31,70	165,2	113,4	79,70	57,20	41,85	31,18
Гексен-3, цис	191,6	130,4	90,95	64,80	47,09	34,85	192,7	130,6	90,67	64,35	46,59	34,38
Гексен-3, транс	190,2	129,0	89,65	63,67	46,12	34,04	189,1	128,0	88,79	62,95	45,53	33,56
Гептен-1	451,4	292,7	194,9	133,0	92,83	66,13	443,9	287,9	191,7	130,9	91,33	65,07
Октен-1	1201	736,0	464,9	301,8	201,0	137,0	1183	724,9	457,8	297,2	197,8	134,8
2-Метилпентен-1	165,8	113,7	79,85	52,57	41,88	31,18	161,8	110,9	77,86	55,82	40,80	30,37
3-Метилпентен-1	121,4	85,17	61,09	44,72	33,30	25,24	121,4	84,90	60,68	44,26	32,88	24,85
4-Метилпентен-1	21,8	85,13	60,84	44,37	32,96	24,91	118,9	83,19	59,38	43,30	32,16	24,30
2-Метилпентен-2	199,9	135,4	93,68	66,55	48,13	35,47	199,3	134,7	93,29	66,04	47,70	35,10
3-Метилпентен-2, цис	207,3	140,4	97,48	69,15	50,05	36,90	205,1	138,9	96,36	68,34	49,45	36,45
3-Метилпентен-2, транс	229,0	154,0	106,1	74,77	53,77	39,41	225,7	151,7	104,6	73,69	53,00	38,85

Сорбат	OV-1						SE-30					
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
2,4,4-Триметилпентен-1	546,6	353,9	235,4	160,4	111,8	79,59	550,7	354,9	235,0	159,5	110,8	78,55
2,4,4-Триметилпентен-2	654,1	416,3	272,5	182,9	125,7	88,27	651,7	413,7	270,1	180,9	124,0	86,90
3,5,5-Триметилгексен-1	954,8	599,1	386,9	256,5	174,2	120,9	943,5	592,0	382,3	253,5	172,1	119,5
Циклогексан	328,9	221,5	152,8	107,8	77,65	56,98	325,2	218,8	150,9	106,4	76,59	56,18
Бензол	304,9	205,3	141,7	100,0	72,03	52,87	298,5	201,2	139,0	98,17	70,76	51,96

Chien C. F., Korpcni M. M., Lanb R. J. — J. High Resolut. Chrom. and Chrom. Commun., 1981, v. 4, N 10, p. 539—543.

Сорбат	OV-101						SP 2100					
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
n-Пентан	69,11	49,57	36,30	27,08	20,55	15,84	67,54	48,87	36,08	27,12	20,73	16,10
n-Гексан	186,4	127,0	88,53	63,09	45,86	33,96	185,4	126,8	88,75	63,47	46,29	34,38
n-Гептан	501,0	322,7	213,5	144,8	100,5	71,19	499,8	322,7	214,1	145,5	101,2	71,85
n-Октан	1344	803,9	500,2	322,6	215,2	147,1	1368	814,5	509,1	327,3	217,0	149,3
n-Нонан	—	2048	1216	744,9	469,6	304,0	3643	2047	1210	742,0	470,6	308,2
n-Декан	—	5223	2949	1722	1038	644,7	9962	5251	2938	1710	1033	650,3
2,2-Диметилбутан	95,76	68,27	49,71	36,88	27,85	21,37	97,23	69,37	50,54	37,52	28,35	21,77
2,3-Диметилбутан	131,4	91,54	65,22	47,43	35,14	26,48	130,3	91,34	65,43	47,82	35,59	26,95
2,2-Диметилпентан	231,7	157,1	109,1	77,40	56,04	41,34	235,3	159,4	110,6	78,46	56,78	41,86
2,3-Диметилпентан	368,0	242,2	163,5	113,1	79,88	57,57	364,7	241,5	164,0	114,0	80,95	58,62
2,4-Диметилпентан	253,3	169,2	115,9	81,22	58,10	42,37	249,7	168,1	116,0	81,84	58,92	43,23

3,3-Диметилпентан	320,6	213,6	145,7	101,7	72,55	52,75	315,2	211,5	145,4	102,3	73,45	53,75
2,2,4-Триметилпентан	439,0	288,5	194,5	134,3	94,79	68,24	443,1	291,2	196,5	135,7	95,76	68,95
2,3,4-Триметилпентан	802,5	508,1	330,9	221,1	151,3	105,8	792,4	505,8	331,9	223,4	153,9	108,3
2,2,5-Триметилгексан	1160	710,7	448,8	291,3	193,9	132,1	1133	701,2	447,0	292,8	196,6	135,1
Пентен-2, <i>цис</i>	79,69	56,63	41,10	30,40	22,90	17,52	78,72	56,34	41,17	30,65	23,22	17,87
Пентен-2, <i>транс</i>	73,83	52,57	38,23	28,33	21,37	16,38	73,08	52,43	38,40	28,65	21,74	16,77
Гексен-1	166,9	114,1	79,84	57,08	41,62	30,90	165,5	113,9	88,75	63,47	42,31	31,58
Гексен-3, <i>цис</i>	194,1	131,3	91,00	64,46	46,59	34,31	190,7	130,0	90,81	64,80	47,16	34,95
Гексен-3, <i>транс</i>	191,8	129,4	89,45	63,22	45,60	33,52	188,7	128,4	89,43	63,66	46,23	34,19
Гептен-1	449,0	290,1	192,6	131,1	91,22	64,82	445,2	289,5	193,3	132,3	92,52	66,07
Октен-1	1193	729,9	460,3	298,3	198,4	135,1	1181	727,9	462,4	301,8	202,0	138,3
2-Метилпентен-1	165,6	113,3	79,32	56,74	41,39	30,74	162,9	112,3	79,24	57,09	41,92	31,33
3-Метилпентен-1	122,1	85,21	60,82	44,29	32,86	24,80	119,6	84,31	60,74	44,62	33,38	25,39
4-Метилпентен-1	119,7	83,59	59,69	43,49	32,28	24,37	118,6	83,28	59,78	43,78	32,64	24,76
2-Метилпентен-2	200,5	135,2	93,46	66,04	47,62	34,99	198,6	134,9	93,81	66,69	48,36	35,73
3-Метилпентен-2, <i>цис</i>	207,3	140,0	96,88	68,54	49,48	36,40	202,7	138,3	96,61	68,97	50,21	37,22
3-Метилпентен-2, <i>транс</i>	228,4	153,1	105,3	74,00	53,10	38,84	225,2	152,1	105,3	74,47	53,76	39,54
2,4,4-Триметилпентен-1	548,0	353,2	233,9	158,7	110,2	78,4	543,2	352,0	234,3	159,8	111,4	79,34
2,4,4-Триметилпентен-2	657,2	416,2	271,2	181,3	124,1	86,77	650,7	414,4	271,4	182,3	125,3	88,06
3,5,5-Триметилгексен-1	95,70	598,5	385,3	254,7	172,5	119,4	945,9	695,4	385,7	256,4	174,6	121,5
Циклогексан	327,2	219,5	150,9	106,2	76,21	55,76	323,9	218,9	151,6	107,4	77,55	57,08
Метилциклогексан	586,3	382,4	256,1	175,7	123,2	88,18	—	—	—	—	—	—
Бензол	298,4	201,2	138,9	98,14	70,74	51,96	297,7	201,2	139,3	98,59	71,20	52,39
Толуол	816,8	521,1	341,9	230,0	158,4	111,4	—	—	—	—	—	—
o-Ксилол	2626	1573	972,5	618,8	404,3	270,7	—	—	—	—	—	—
m-Ксилол	2185	1313	814,6	520,0	340,7	228,7	—	—	—	—	—	—
p-Ксилол	2176	1311	815,1	521,4	342,4	230,3	—	—	—	—	—	—

Б Удельные объемы удерживания и индексы Ковача органических соединений

Сорбат	OV-3						OV-7					
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
Удельные объемы удерживания												
<i>n</i> -Гексан	176,9	119,8	83,10	58,93	42,64	31,43	156,2	107,4	75,63	54,38	39,86	29,74
<i>n</i> -Гептан	491,3	313,7	206,0	138,7	95,59	67,30	435,4	282,8	188,6	128,9	90,07	64,25
<i>n</i> -Октан	1335	806,1	502,1	321,8	211,7	142,6	1191	731,7	463,4	301,7	201,3	137,5
<i>n</i> -Нонан	3618	2062	1217	741,3	464,7	299,3	3246	1888	1135	703,6	448,5	293,4
Метилциклогексан	613,3	395,9	262,6	178,5	124,1	88,15	582,3	381,3	256,4	176,5	124,2	89,16
Бензол	358,7	237,6	161,5	112,3	79,80	57,82	398,8	264,9	180,4	125,7	89,54	65,00
Толуол	1012	632,5	406,8	268,6	181,8	125,8	1124	704,8	454,7	301,2	204,4	141,8
<i>o</i> -Ксилол	3408	1997	1210	755,3	484,7	319,0	3874	2281	1388	870,2	560,6	370,4
<i>m</i> -Ксилол	2748	1623	989,9	622,1	401,7	266,0	3036	1807	1111	703,1	457,0	304,5
<i>p</i> -Ксилол	2732	1619	990,6	624,3	404,2	268,4	3027	1800	1105	698,8	453,8	302,1

## Индексы Ковача

2,2-Диметилбутан	539,5	538,9	538,2	537,5	535,8	536,0	533,6	534,1	534,6	535,1	535,7	536,3
2,3-Диметилбутан	566,7	567,1	567,6	568,1	568,7	569,2	566,1	566,4	566,8	567,2	567,6	568,0
2,2-Диметилпентан	604,2	610,0	616,0	626,3	629,1	636,2	617,4	618,8	620,2	621,7	623,3	625,0
2,3-Диметилпентан	670,4	671,0	671,6	672,3	673,0	673,7	667,3	669,1	670,4	671,8	673,2	674,7
2,4-Диметилпентан	630,0	630,1	630,4	630,5	630,6	630,8	625,7	626,0	626,4	626,8	627,2	627,7
3,3-Диметилпентан	653,5	655,2	657,0	658,9	661,0	663,0	653,6	655,1	656,7	658,4	660,3	662,2
2,2,4-Триметилпентан	686,6	687,4	688,4	689,3	690,4	691,5	681,8	683,3	684,9	686,6	688,4	690,3
2,3,4-Триметилпентан	748,6	649,6	750,7	751,9	753,1	754,4	745,9	747,7	749,6	751,7	753,8	756,1
2,2,5-Триметилпентан	783,1	782,2	781,2	780,2	779,1	778,0	773,0	774,0	775,1	776,2	777,4	778,7
Пентен-2, <i>цис</i>	531,0	528,8	526,5	523,9	521,3	518,5	524,3	524,0	523,8	523,5	523,2	522,8
Пентен-2, <i>транс</i>	509,2	509,7	510,2	510,8	511,5	512,1	519,1	517,8	516,4	514,9	513,3	511,6
Гексен-1	597,2	597,0	568,8	596,6	593,3	596,1	599,9	599,7	599,5	599,4	599,2	599,0
Гексен-3, <i>цис</i>	608,8	608,8	608,8	608,8	608,8	608,8	611,0	611,1	611,2	611,3	611,4	611,5

7-811

Гексен-3, <i>транс</i>	607,3	607,0	606,7	606,4	606,0	605,7	609,3	609,4	609,5	609,7	609,8	609,9
Гептен-1	692,7	693,3	693,8	694,4	695,1	695,8	696,2	696,8	697,3	697,9	698,5	699,2
Октен-1	791,4	791,5	791,5	791,6	791,7	791,7	796,3	796,6	797,0	797,4	797,8	798,2
2-Метилпентен-1	596,4	596,2	596,1	595,9	595,7	595,5	595,3	595,8	596,3	596,8	597,4	598,0
3-Метилпентен-1	559,0	560,0	561,3	562,5	563,8	565,1	564,9	565,0	565,0	565,1	565,1	565,2
4-Метилпентен-1	564,6	564,0	563,4	562,7	562,0	561,3	569,1	567,4	565,7	563,8	561,8	559,7
2-Метилпентен-2	620,8	619,1	617,4	615,5	613,6	611,6	612,8	613,4	614,0	614,7	615,4	616,1
3-Метилпентен-2, <i>цис</i>	621,3	620,4	619,5	618,5	617,5	616,5	619,1	619,6	620,1	620,6	621,2	621,8
3-Метилпентен-2, <i>транс</i>	627,7	627,4	627,1	626,7	626,4	626,0	627,9	628,4	629,0	629,6	630,3	631,0
2,4,4-Триметилпентен-1	700,4	704,0	707,8	711,8	716,1	720,9	708,9	711,1	713,4	715,9	718,4	721,3
2,4,4-Триметилпентен-2	731,2	731,1	731,0	730,8	730,6	730,4	738,8	737,1	735,4	733,6	731,7	729,7
3,5,5-Триметилгексен-1	768,5	768,9	769,4	769,9	770,5	771,0	763,8	765,6	767,5	769,5	771,6	773,8
Циклогексан	—	—	—	—	—	—	671,8	674,2	676,8	679,6	682,5	685,7
<i>o</i> -Ксилол	887,8	890,8	894,0	897,3	900,9	904,6	—	—	—	—	—	—
<i>m</i> -Ксилол	868,4	870,6	872,8	875,2	877,7	880,4	—	—	—	—	—	—
<i>p</i> -Ксилол	859,1	863,1	867,3	871,7	876,3	881,3	—	—	—	—	—	—

## Сорбат

## OV-22

## OV-25

## Удельные объемы удерживания

<i>n</i> -Гексан	68,77	49,88	36,90	27,80	21,29	16,55	48,76	36,53	27,86	21,59	16,99	13,55
<i>n</i> -Гептан	181,7	125,1	88,11	63,39	46,49	34,70	135,0	94,19	67,21	48,94	36,30	27,39
<i>n</i> -Октан	492,7	318,5	211,6	144,0	100,3	71,28	358,9	236,1	159,4	110,2	77,84	56,09
<i>n</i> -Нонан	1300	793,8	499,9	323,6	214,9	146,1	963,2	595,1	378,8	247,7	166,1	113,9
Метилциклогексан	313,4	213,6	149,1	106,3	77,36	57,31	261,8	177,5	123,3	87,55	63,41	46,79
Бензол	383,8	257,2	176,7	124,1	89,04	65,09	348,5	234,5	161,7	114,0	82,05	60,17
Толуол	1027	651,0	424,5	284,0	194,5	136,2	925,9	587,2	383,1	256,4	175,7	123,0
<i>o</i> -Ксилол	3524	2999	1290	817,0	531,3	354,1	3190	1895	1162	734,4	476,5	317,0
<i>m</i> -Ксилол	2642	1590	987,4	631,0	413,9	278,2	2379	1427	883,6	563,0	368,3	246,9
<i>p</i> -Ксилол	2600	1566	972,7	621,9	408,1	274,4	2317	1396	868,6	555,8	365,1	245,7

97

Сорбат	OV-22						OV-25					
	Индексы Ковача											
2,2-Диметилбутан	531,7	531,0	530,3	529,6	528,9	528,0	517,1	520,4	523,8	527,5	531,2	535,3
2,3-Диметилбутан	552,7	556,2	559,8	563,6	567,5	571,5	573,6	571,6	569,4	567,2	564,8	562,3
2,2-Диметилпентан	619,3	618,5	617,6	616,7	615,8	614,5	615,3	616,0	616,7	617,5	618,2	619,1
2,3-Диметилпентан	669,7	670,9	672,2	673,5	674,9	676,3	673,4	673,8	674,3	673,3	675,3	675,9
2,4-Диметилпентан	616,7	617,4	618,1	618,8	619,6	620,4	624,3	624,1	623,9	623,7	623,5	623,3
3,3-Диметилпентан	652,6	654,6	656,6	658,8	661,0	663,3	648,9	652,6	656,6	660,7	665,0	669,6
2,2,4-Триметилпентан	665,8	669,0	672,2	675,6	679,1	682,7	675,4	676,1	676,9	677,7	678,5	679,3
2,3,4-Триметилпентан	752,6	753,7	756,9	757,4	758,7	—	—	—	—	—	—	—
2,2,5-Триметилгексан	770,4	769,7	768,7	767,8	766,9	766,0	771,2	770,1	769,0	767,3	766,6	765,3
Пентен-2, <i>цис</i>	541,3	541,3	541,3	541,4	541,3	541,3	565,4	561,1	556,7	551,9	547,0	541,9
Пентен-2, <i>транс</i>	533,8	533,0	532,3	531,5	530,6	529,8	551,9	548,5	545,2	541,3	537,5	533,4
Гексен-1	597,1	600,4	603,9	607,5	611,3	615,2	624,1	621,7	619,1	616,5	613,8	610,7
Гексен-3, <i>цис</i>	629,6	629,1	629,6	628,1	627,6	627,1	639,1	638,3	637,5	636,6	635,7	634,7
Гексен-3, <i>транс</i>	629,3	628,9	628,6	628,0	627,5	627,0	641,3	639,6	637,9	636,0	634,1	632,0
Гептен-1	708,2	709,6	710,4	711,4	712,3	713,3	719,4	718,4	717,4	716,3	715,2	714,1
Октен-1	811,4	811,2	811,0	810,8	810,6	810,4	817,8	817,0	816,2	815,3	814,4	813,5
2-Метилпентен-1	611,9	611,9	611,9	611,9	611,9	611,9	618,3	618,3	618,1	618,0	617,9	617,8
3-Метилпентен-1	577,3	576,3	575,2	574,1	573,0	571,8	582,6	581,7	580,6	579,5	578,3	577,2
4-Метилпентен-1	570,1	570,6	571,0	571,5	572,0	572,5	572,0	572,9	573,8	574,7	575,7	576,7
2-Метилпентен-2	631,4	632,2	633,0	633,8	634,6	635,3	645,1	644,2	643,3	642,3	641,3	640,2
3-Метилпентен-2, <i>цис</i>	636,3	634,2	638,2	639,2	640,3	641,3	650,5	649,7	648,9	648,0	647,1	646,2
3-Метилпентен-2, <i>транс</i>	646,6	648,1	649,8	651,4	653,2	655,0	656,2	656,8	657,5	658,1	658,8	659,6
2,4,4-Триметилпентен-1	725,1	726,4	727,0	727,4	728,1	728,6	729,4	729,8	730,2	730,6	730,9	731,4
2,4,4-Триметилпентен-2	750,4	749,7	749,1	747,8	747,7	746,9	757,5	756,6	755,7	753,7	753,6	752,6
3,5,5-Триметилгексен-1	774,6	774,7	774,8	774,8	775,0	775,0	777,2	777,6	778,0	778,5	778,9	779,9
Циклогексан	704,4	707,1	709,9	712,7	715,6	718,7	711,8	715,5	719,2	723,2	727,3	731,7

Примечание. Удельные объемы удерживания измерены на насадочной колонке с силианизированным белым носителем, индексы Ковача рассчитаны по данным эксперимента на стеклянной силианизированной капиллярной колонке.  
Chaoji J. Chien, Thesis. Ohio State University, 1982

Сорбат	OV-11						OV-17					
	Удельные объемы удерживания											
<i>n</i> -Гексан	128,2	88,68	62,75	45,33	33,38	25,01	97,20	67,39	47,80	34,60	25,53	19,17
<i>n</i> -Гептан	354,4	231,9	155,8	107,2	75,39	54,10	264,1	173,4	116,9	80,69	56,91	40,95
<i>n</i> -Октан	971,4	600,1	381,9	249,7	167,4	114,8	719,3	446,4	285,3	187,3	126,1	86,77
<i>n</i> -Нонан	2657	1549	933,6	580,0	370,5	242,9	1935	1137	690,6	432,2	278,0	183,4
Метилциклогексан	516,5	338,4	227,5	156,7	110,3	79,22	408,9	269,3	182,1	126,0	89,10	64,27
Бензол	418,1	277,9	189,5	132,2	94,15	68,39	408,9	268,4	180,4	124,3	87,53	62,90
Толуол	1182	738,9	475,2	314,0	212,5	147,1	1120	695,9	445,3	292,7	197,2	135,9
<i>o</i> -Ксилол	4146	2428	1470	917,1	588,1	386,9	3899	2274	1371	852,2	544,8	357,2
<i>m</i> -Ксилол	3174	1882	1152	726,4	470,5	312,5	2959	1744	1062	666,1	429,4	283,9
<i>p</i> -Ксилол	3160	1872	1146	722,0	467,5	310,3	2920	1723	1051	660,2	426,1	282,1

## Индексы Ковача

2,2-Диметилбутан	528,7	529,6	530,3	531,1	531,9	532,5	530,5	530,8	530,4	530,4	530,2	530,1
2,3-Диметилбутан	562,7	563,5	564,3	565,3	566,2	567,2	563,7	564,6	564,8	566,4	566,1	566,7
2,2-Диметилпентан	619,7	619,8	620,0	620,1	620,3	620,5	619,9	619,8	619,4	619,2	618,9	618,6
2,3-Диметилпентан	667,5	668,8	670,1	671,5	673,0	674,6	671,2	671,9	672,5	673,5	673,7	674,7
2,4-Диметилпентан	623,5	623,8	624,1	624,5	624,8	625,3	623,9	623,6	623,0	622,6	622,1	621,6
3,3-Диметилпентан	653,0	655,3	656,9	658,6	660,3	662,2	657,0	657,9	658,7	659,6	660,5	661,5
2,2,4-Триметилпентан	681,2	682,1	683,1	684,1	685,2	686,4	679,6	680,3	681,1	681,9	682,7	683,6
2,3,4-Триметилпентан	748,7	750,2	751,7	753,3	754,9	756,7	750,4	751,6	753,1	754,4	755,8	757,4
2,2,5-Триметилгексан	772,7	772,6	773,0	773,4	773,8	774,3	769,2	769,2	769,5	769,7	769,9	770,2
Пентен-2, <i>цис</i>	531,6	531,1	530,6	520,1	529,4	528,9	539,7	539,0	537,6	536,6	535,4	534,2
Пентен-2, <i>транс</i>	520,1	519,9	519,5	519,3	519,0	518,7	528,3	527,9	526,8	526,0	525,1	524,2
Гексен-1	602,1	602,5	602,9	603,3	603,7	604,2	611,7	610,8	609,6	608,5	607,3	606,0
Гексен-3, <i>цис</i>	613,0	614,2	615,4	616,8	618,2	619,7	624,2	624,0	623,5	623,2	622,5	622,4
Гексен-3, <i>транс</i>	521,8	542,5	564,8	588,0	612,5	638,4	625,1	624,1	622,8	621,5	620,2	618,8
Гептен-1	703,4	703,4	703,4	703,4	703,4	703,4	709,2	708,9	708,5	708,2	707,8	707,4
Октен-1	800,2	800,6	801,1	802,0	802,5	—	806,3	806,1	806,2	806,2	806,2	806,1

Сорбат	OV-11						OV-17					
2-Метилпентен-1	600,4	600,7	601,1	601,5	601,9	602,4	610,0	609,5	608,7	608,0	607,2	606,4
3-Метилпентен-1	477,2	501,9	527,9	555,3	584,2	614,7	573,3	573,2	572,5	572,1	571,7	571,2
4-Метилпентен-1	565,3	565,4	565,7	565,9	566,1	566,4	570,6	570,7	570,2	570,0	569,6	569,6
2-Метилпентен-2	619,2	619,7	620,2	620,7	621,3	621,8	627,9	627,9	627,5	627,3	627,1	626,9
3-Метилпентен-2, <i>цис</i>	623,4	624,1	624,8	625,6	626,4	627,3	632,4	632,7	632,8	633,0	633,2	633,4
3-Метилпентен-2, <i>транс</i>	752,5	729,5	704,7	678,9	651,6	622,8	644,6	644,7	644,6	644,5	644,5	644,5
2,4,4-Триметилпентен-1	716,6	717,8	719,6	720,4	721,8	723,3	721,1	721,9	722,8	723,6	724,6	725,5
2,4,4-Триметилпентен-2	720,0	723,6	729,7	732,2	736,7	741,5	740,1	740,4	740,8	741,3	741,6	742,2
3,5,5-Триметилгексен-1	768,2	769,5	776,8	772,1	773,6	775,1	770,2	771,0	772,3	773,4	774,6	775,5
Циклогексан	681,4	684,1	687,0	689,7	693,1	696,4	691,9	694,4	697,0	699,8	702,8	705,9

## В. Удельные объемы удерживания органических соединений

Сорбат	DC-550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F-50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
Формальдегид	—	1,0	—	0,8	—	0,9	1,7	0,8	—	0,8	—	0,7
Уксусный альдегид	3,4	1,9	4,0	1,9	2,7	1,4	2,2	—	2,3	1,3	2,4	1,3
Пропионовый альдегид	7,6	3,7	7,2	3,1	5,8	2,9	5,0	3,4	5,0	2,5	5,4	2,7
Масляный альдегид	14,4	6,4	12,3	5,0	10,9	5,1	9,6	6,3	9,3	4,4	10,3	4,8
Изомасляный альдегид	11,6	5,3	10,4	4,4	9,4	4,5	8,0	5,5	7,9	3,8	8,6	4,1
Валериановый альдегид	29,0	11,5	22,3	8,6	21,4	9,0	18,7	11,8	18,1	7,7	20,5	8,5
Изовалериановый альдегид	22,0	8,9	16,6	6,5	16,8	7,2	14,6	9,4	14,2	6,3	16,0	6,9
2-Метилмасляный альдегид	23,1	9,4	16,7	—	17,6	7,7	15,4	10,0	15,2	6,6	16,9	7,3
2,2-Диметилпропиональ	13,6	6,3	12,5	5,1	11,6	5,4	10,2	6,9	9,9	4,8	11,1	5,2
<i>n</i> -Гексаналь	55,3	19,9	37,5	12,5	39,6	15,4	34,1	20,8	33,5	13,1	38,7	14,7
<i>n</i> -Гептаналь	102	33,1	61,9	19,1	72,7	24,5	62,5	39,1	61,4	21,0	72,2	24,2
2-Этилгексанааль	140	43,2	60,8	23,3	102	33,4	86,9	48,9	87,7	28,7	104	33,8
Акролен	7,4	3,7	7,4	3,3	5,4	2,8	4,9	3,5	4,6	2,4	5,0	2,5
Метакролен	12,9	5,8	10,5	4,4	9,9	4,7	8,3	5,8	8,5	4,0	9,3	4,4
Кротоновый альдегид	24,7	9,9	24,7	9,4	16,7	7,0	14,7	9,4	13,4	5,9	15,5	6,5
2-Этилбутен-2-аль	68,9	24,9	49,6	15,9	47,8	17,6	41,7	24,9	39,6	15,1	46,1	17,0
2-Этилгексен-2-аль	201	59,0	124	35,4	138	43,2	121	65,8	117	36,4	140	43,4
Гексадиен 2,4-аль	142	43,7	111	32,0	87,6	28,7	78,4	42,9	67,6	23,0	80,8	27,1
Ацетон	7,4	3,7	9,6	3,8	5,6	2,8	5,0	3,3	4,8	2,5	5,1	2,7
Бутанон 2	15,1	6,5	15,2	5,8	11,2	5,0	9,8	6,4	9,5	4,4	10,4	4,7
Пентанон-2	26,9	10,7	24,2	8,6	20,1	8,4	17,7	11,2	17,0	7,2	19,1	8,0
Пентанон-3	28,3	11,0	22,3	8,0	21,1	8,7	18,2	11,6	17,8	7,4	20,1	8,2
3-Метилбутанон-2	22,2	8,9	19,2	7,4	17,0	7,2	15,0	9,5	14,4	6,4	—	6,9
Гексанон 2	52,2	18,6	41,3	13,2	38,1	14,4	33,7	20,1	32,0	12,4	36,8	13,9
Гексанон-3	49,2	17,7	35,0	11,3	36,7	13,9	32,3	19,4	31,1	12,0	35,8	13,5
3-Метилпентанон-2	41,1	15,5	33,6	11,8	30,8	12,2	27,4	16,9	26,5	10,7	30,3	11,8
4-Метилпентанон-2	36,9	13,6	31,8	10,6	28,4	11,2	25,0	15,4	24,0	9,6	27,6	10,7
3,3-Диметилбутанон-2	30,0	11,8	26,7	9,4	23,7	9,6	21,0	13,0	20,4	8,4	22,6	9,1
Гептанон-2	98,3	20,7	70,4	19,9	69,9	22,7	62,0	35,2	58,6	19,6	69,3	22,0
Гептанон-3	92,6	30,7	60,5	18,3	67,5	23,3	59,7	—	57,2	19,9	68,0	23,1
Гептанон-4	83,9	28,2	54,1	17,0	61,8	21,8	54,9	—	52,8	18,6	61,9	21,4
4,4-Диметилпентанон-2	47,2	17,3	37,1	12,6	36,9	14,4	32,8	19,8	31,9	12,4	36,6	14,4
2,4-Диметилпентанон-3	49,3	17,8	33,5	11,0	39,5	14,9	34,5	20,9	34,3	19,9	39,7	14,6
Октанон-2	181	53,0	116	32,7	124	38,9	110	58,5	105	32,2	126	38,9
Нонанон-2	336	87,3	193	48,8	228	63,3	205	103	189	52,8	234	64,1
Нонанон-5	287	27,9	152	38,2	202	57,9	186	93,2	171	49,3	209	59,0
Циклопентанон	68,3	24,2	56,2	18,7	41,1	15,7	37,9	—	33,3	13,0	38,6	14,9
Циклогексанон	135	45,3	100	31,5	79,3	28,5	72,3	41,9	63,7	22,8	76,5	26,8

Сорбат	DC-550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F-50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
Бутен-2-он-2	15,1	6,5	14,7	5,6	11,0	5,1	9,5	6,4	9,0	4,3	10,2	4,7
Гексен-5-он-2	50,8	18,4	39,0	12,7	35,4	13,6	31,4	18,9	29,3	11,4	33,8	12,9
3-Метилбутен-3-он-2	25,2	10,4	18,4	7,4	19,0	8,2	16,9	—	16,0	17,0	18,1	7,7
4-Метилпентен-3-он-2	58,5	—	39,8	—	41,4	—	36,2	21,7	34,3	—	40,0	—
Бутандион-2,3	14,5	6,2	14,6	5,5	10,9	4,9	9,5	6,4	9,1	4,2	9,9	4,5
Пентандион-2,3	28,2	10,8	23,3	8,2	20,4	8,4	—	11,5	17,2	7,3	19,3	7,9
Пентандион-2,4	58,3	21,7	47,9	17,4	40,3	15,6	36,2	21,9	32,4	12,8	37,2	14,4
Метанол	3,2	1,8	2,2	1,2	3,1	1,6	2,5	1,8	2,6	1,4	2,5	1,3
Этанол	5,2	2,5	3,3	1,5	4,8	2,2	4,1	2,7	3,9	2,0	3,9	1,9
n-Пропанол	10,7	4,7	5,8	2,6	9,6	4,2	8,5	5,5	7,7	3,6	8,1	3,7
Изопропанол	6,7	3,1	4,1	1,9	6,2	2,9	5,7	3,5	5,0	2,5	5,3	2,6
n-Бутанол	21,8	8,6	10,6	4,2	19,0	7,4	17,0	10,2	15,0	6,3	16,1	6,6
Изобутанол	16,8	6,9	8,5	3,5	15,1	6,2	13,4	8,3	12,0	5,3	12,9	5,5
Бутанол-2	14,1	6,0	7,3	3,2	12,6	5,3	11,0	7,0	10,2	4,6	11,0	4,8
Бутанол-3	8,1	3,7	5,0	2,2	7,6	3,4	6,9	4,3	6,2	3,1	6,7	3,2
Циклопропилметанол	28,2	10,9	13,9	5,4	23,0	9,0	21,4	12,8	17,8	7,5	19,2	7,8
n-Пентанол	43,0	15,3	18,9	6,6	36,5	12,9	32,5	19,2	28,7	10,8	31,9	11,5
Пентанол-2	26,2	10,1	12,1	4,8	23,1	9,0	20,9	11,6	18,5	7,7	20,5	8,1
Пентанол-3	26,0	10,3	11,3	4,7	22,7	9,4	21,1	12,0	18,7	7,9	20,4	8,6
2-Метилбутанол-1	34,8	13,2	15,2	6,1	30,6	11,5	26,8	—	24,1	9,6	26,3	10,3
2-Метилбутанол-2	17,5	7,3	8,9	3,9	15,6	6,7	14,5	8,4	13,3	5,9	14,4	6,2
3-Метилбутанол-1	43,0	15,3	18,9	6,6	36,5	12,9	32,5	19,2	28,7	10,8	31,9	11,5
3-Метилбутанол-2	23,5	9,3	10,6	4,7	20,8	8,4	18,8	10,7	16,8	7,2	18,5	7,6
2,2-Диметилпропанол-1	21,6	8,7	10,2	4,4	20,1	8,0	18,0	10,4	16,2	6,8	17,3	7,1
Гексанол-1	82,3	26,4	31,3	10,2	68,9	22,2	61,4	33,5	53,0	18,2	60,2	19,9
Гексанол-2	50,2	17,7	20,5	7,2	42,7	15,4	39,4	—	34,5	12,7	38,7	14,1
Гексанол-3	48,4	17,3	18,7	6,6	41,6	15,0	37,9	—	33,8	12,7	38,2	13,8
2-Метилпентанол-1	65,0	21,4	26,1	8,2	54,9	18,3	49,2	27,8	43,8	15,2	48,9	16,3
3-Метилпентанол-1	70,8	23,6	29,9	9,2	59,1	19,8	—	30,3	45,7	16,3	52,3	17,7
4-Метилпентанол-1	66,0	21,6	28,1	8,6	56,5	18,4	51,6	28,2	43,8	15,2	49,7	16,5
2-Метилпентанол-2	31,4	12,2	14,5	5,4	27,8	10,8	26,0	14,9	23,0	9,5	25,8	10,4
3-Метилпентанол-2	48,7	17,3	18,9	6,7	41,5	15,1	38,2	21,4	33,9	12,8	38,2	13,9
4-Метилпентанол-2	38,2	13,9	16,9	6,0	33,8	12,4	31,0	—	27,2	10,6	30,8	11,5
2-Метилпентанол-3	42,0	15,4	16,7	6,1	36,2	13,7	33,3	20,3	29,7	11,6	33,5	12,6
3-Метилпентанол-3	37,3	13,9	15,6	5,9	32,2	12,4	29,9	16,6	26,7	10,7	29,7	11,7
2-Этилбутанол-1	68,4	23,0	26,3	9,0	57,8	19,5	52,4	28,1	45,3	16,2	51,0	17,6
2,2-Диметилбутанол-1	49,7	18,0	20,2	7,5	43,2	15,7	40,1	23,2	34,5	13,2	38,5	14,3
2,3-Диметилбутанол-2	32,1	12,4	14,3	5,5	28,1	11,1	26,0	14,4	23,5	9,6	26,5	10,5
3,3-Диметилбутанол-2	33,8	13,1	14,8	5,8	30,0	11,7	27,3	15,7	24,8	10,0	27,4	11,0
Гептанол-1	154	45,1	52,8	15,7	126	37,0	11,6	57,6	97,2	30,0	111	33,3
Гептанол-2	94,5	30,1	34,5	11,3	78,8	25,4	73,3	40,7	63,2	21,4	72,5	23,7
Гептанол-3	92,1	28,7	32,5	10,0	76,4	25,4	71,4	39,8	62,2	20,6	71,6	22,9
Гептанол-4	87,8	27,7	31,1	9,5	73,0	23,8	69,1	36,9	59,8	20,1	68,8	22,2
2,2-Диметилпентанол-1	61,0	21,2	32,7	10,0	74,4	23,9	68,1	36,9	59,0	19,9	66,1	21,8
2,4-Диметилпентанол-3	61,0	21,2	22,7	7,8	52,9	18,7	50,5	—	44,2	15,9	50,9	17,6
3-Этилпентанол-3	74,5	25,2	28,3	8,8	62,0	21,2	57,4	—	51,3	18,2	—	—
Октанол-1	288	75,9	87,6	24,5	228	60,4	215	104	175	48,6	205	55,6
Октанол-2	176	50,6	56,9	17,3	142	41,8	135	68,5	113	54,6	133	39,6
2-Этилгексанол-1	221	59,3	66,0	18,6	176	48,6	167	83,4	139	39,8	162	44,9
2-Этил-4-метилпентанол-1	163	48,3	55,3	17,0	136	40,5	128	67,3	107	33,5	123	37,5
Нонанол-1	—	124	—	36,5	—	97,0	—	165	—	79,0	—	89,8
Циклопентанол	55,4	19,5	21,4	7,7	43,4	15,5	39,6	22,4	33,1	12,6	37,3	13,7
Циклогексанол	109	35,4	40,2	13,4	81,1	26,7	75,8	40,3	62,2	21,8	71,7	24,1
2-Метилциклогексанол	148	47,2	46,5	15,5	10	36,2	103	54,3	87,7	29,7	101	33,5
Пропен-2-ол-1	10,6	4,7	5,8	2,5	9,6	4,1	8,5	5,1	7,4	3,4	7,7	3,5
Бутен-2-ол-1	24,5	9,4	11,6	4,3	20,7	7,9	17,4	10,6	15,8	6,5	17,0	6,9
Бутен-3-ол-1	20,0	8,1	10,0	4,1	17,0	6,8	15,1	8,9	13,2	5,8	14,0	5,9
Бутен-3-ол-2	12,8	5,5	6,5	2,8	11,5	4,9	10,2	6,0	9,1	4,2	9,7	4,4
2-Метилпропен-2-ол-1	20,8	8,2	9,3	3,6	18,5	7,2	16,5	9,2	13,8	6,0	14,8	6,2
Пентен-3-ол-1	43,1	15,6	18,1	6,4	35,6	12,9	32,1	18,7	27,4	10,7	30,0	11,3
Пентен-1-ол-3	24,9	9,7	10,5	4,1	21,7	8,5	19,4	11,2	17,1	7,3	18,8	7,6
Пентен-1-ол-4	24,3	9,3	11,3	4,3	20,8	8,3	18,7	10,8	16,4	7,0	18,1	7,5

Сорбат	DC-550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F-50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
2-Метилбутен-3-ол-2	14,9	6,4	7,1	3,1	13,4	5,8	12,2	7,5	11,1	5,0	11,9	5,3
3-Этилгексен-2-ол-1	238	65,6	72,4	20,7	186	51,9	—	142	144	42,0	166	46,8
2-Метилбутин-3-ол-2	14,9	6,0	6,3	2,8	14,0	5,4	12,5	7,4	10,2	4,0	10,9	4,7
Пропин-2-ол-1	13,3	5,4	6,3	2,6	13,1	4,8	11,7	6,8	8,9	3,9	8,4	3,8
3-Метилпентин-1-ол-3	30,4	11,4	11,3	4,4	27,8	10,2	23,8	—	20,6	8,1	22,4	8,7
Этиленгликоль	—	15,0	—	9,0	—	15,2	50,8	—	—	9,5	—	9,4
Пропандиол-1,2	—	18,0	—	10,5	—	16,5	52,3	27,9	—	10,6	—	11,5
Пропандиол-1,3	—	31,0	—	17,8	—	28,5	105	52,1	—	17,0	—	17,4
Бутандиол-1,2	—	30,9	—	14,8	—	26,7	93,1	47,2	—	17,7	—	19,1
Бутандиол-1,3	—	35,7	—	20,0	—	30,6	119	—	—	19,4	—	—
Бутандиол-1,4	—	57,2	—	31,0	—	50,8	—	88,2	—	29,5	—	31,6
Бутандиол-2,3 DL	—	21,0	—	20,9	—	18,0	56,7	31,1	—	12,6	—	13,5
Бутандиол-2,3-мезо	—	22,5	—	11,2	—	19,2	65,0	33,0	—	13,4	—	14,2
2-Метилпропандиол-1,2	—	18,5	—	10,0	—	16,5	54,2	27,4	—	11,2	—	11,8
Пентандиол-1,3	—	42,3	—	21,5	—	37,1	—	—	—	22,7	—	23,3
Пентандиол-1,5	—	95,2	—	45,5	—	82,9	—	—	—	21,5	—	50,1
Пентандиол-2,4	—	39,3	—	20,2	—	32,0	—	59,0	—	21,5	—	23,9
2,2-Диметилпропандиол-1,3	—	50,3	—	25,2	—	43,3	—	—	—	27,2	—	29,8
Гександиол-1,3	—	43,3	—	23,1	—	34,0	—	63,3	—	24,4	—	27,0
Гександиол-1,6	—	158	—	70,7	—	135	—	—	—	75,5	—	82,5
2-Метилпентандиол-1,3	—	83,6	—	35,2	—	65,8	—	12,4	—	43,8	—	48,8
2-Метилпентандиол-2,4	—	43,7	—	23,6	—	34,0	—	60,4	—	24,3	—	27,3
3-Метилпентандиол-2,4	—	64,9	—	29,6	—	50,4	—	—	—	34,6	—	38,2
3-Метилпентандиол-1,5	—	137	—	62,3	—	115	—	—	—	66,0	—	72,6
2,3-Диметилбутандиол-2,3	—	30,9	—	14,2	—	24,7	—	43,8	—	18,8	—	—
Гептандиол-2,4	—	101	—	42,3	—	77,9	—	150	—	53,8	—	60,5
Октандиол-1,2	—	226	—	77,2	—	180	—	411	—	118	—	133
Бутен-2-диол-1,4	—	66,7	—	33,5	—	66,8	—	121	—	34,0	—	34,5
Диэтиленгликоль	—	71,6	—	40,3	—	64,1	—	—	—	35,7	—	38,2
Этан	0,5	0,4	0,4	0,3	0,7	0,5	0,8	0,5	0,7	0,5	0,7	0,6
n-Бутан	2,7	1,5	1,2	0,7	3,2	1,8	3,0	1,9	3,0	1,7	3,1	1,7
n-Гексан	10,0	4,8	3,5	1,6	11,9	5,6	10,4	6,6	11,0	5,0	11,8	5,3
2,3-Диметилбутан	8,5	4,2	2,9	1,5	10,2	4,9	—	—	8,9	4,3	9,7	4,6
n-Октан	36,4	13,9	9,5	3,7	40,1	15,3	36,1	21,6	36,7	13,4	40,8	14,8
n-Декан	127	38,8	25,5	8,3	133	40,6	119	60,5	120	35,1	140	40,0
n-Додекан	429	106	67,6	18,2	422	105	382	172	381	90,2	458	106
n-Тетрадекан	1415	291	174	38,9	1319	271	1199	479	1160	231	1472	282
n-Гексадекан	4400	752	460	82,9	3920	664	3400	1328	3450	567	4600	709
n-Октадекан	—	1900	—	171	—	1560	9300	3300	—	1380	—	1800
Пентен-1	5,2	2,7	1,8	1,0	6,0	3,0	—	—	5,2	2,7	5,6	2,9
Циклогексан	19,9	—	5,8	—	19,1	—	16,2	10,0	17,2	—	18,9	—
Бензол	23,7	10,3	8,6	3,8	19,2	8,5	16,7	10,6	16,4	7,4	18,3	8,0
Толуол	46,5	18,2	16,4	6,0	36,5	14,6	31,2	19,5	31,2	12,8	35,8	14,5
o-Ксилол	106	36,8	34,7	11,6	78,6	28,1	68,3	38,7	66,2	23,6	79,7	28,3
m-Ксилол	87,8	30,2	27,6	9,4	66,6	23,5	57,9	33,7	57,1	20,3	67,9	23,4
p-Ксилол	87,1	30,6	27,3	9,3	67,3	23,8	58,1	33,9	57,7	20,8	67,8	23,9
Этилбензол	84,4	29,9	26,4	9,3	64,3	23,5	54,9	31,8	54,8	19,9	64,3	23,2
1,2-Диэтилбензол	288	83,9	73,6	21,7	203	61,9	184	93,8	173	51,5	209	62,1
1,3-Диэтилбензол	259	75,9	62,2	18,6	187	56,8	174	87,0	160	47,3	192	56,7
1,4-Диэтилбензол	275	79,9	63,1	19,1	197	59,6	177	90,1	167	49,7	205	60,7
Дихлорметан	10,2	4,9	4,3	2,1	8,0	4,0	6,7	4,5	6,8	3,4	7,2	3,6
1,2-Дихлорэтан	24,3	10,2	10,4	4,6	17,0	7,6	15,1	10,0	14,1	6,4	15,6	6,9
Тетрахлорид углерода	22,0	9,8	6,8	3,1	19,5	8,9	16,1	10,8	16,8	7,6	19,2	8,3
Хлороформ	17,7	7,9	5,8	2,8	14,3	6,4	12,2	8,1	11,8	5,6	13,0	6,0
Метилформат	4,3	2,2	3,6	1,9	3,3	1,9	—	2,2	3,1	1,8	3,3	1,8
Этилформат	7,5	3,8	6,5	2,8	6,5	3,3	5,7	3,9	5,7	2,8	5,9	3,0
n-Пропилформат	16,1	7,0	11,6	4,7	13,0	5,9	11,6	7,2	11,1	5,1	12,4	5,5
Изопропилформат	11,5	5,2	9,2	3,8	9,6	4,7	8,4	5,5	8,5	4,1	9,1	4,3
n-Бутилформат	31,8	12,2	19,2	7,2	25,1	10,3	21,9	—	21,1	8,7	23,5	9,6

Сорбат	DC-550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F-50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
Изобутилформиат	24,6	10,0	15,8	6,2	20,1	8,3	17,1	11,0	17,2	7,2	19,3	7,9
втор-Бутилформиат	23,5	9,6	16,4	6,1	19,4	8,2	16,8	10,8	16,7	7,1	18,5	7,7
n-Пентилформиат	61,1	21,6	35,7	12,3	47,3	17,5	40,9	24,1	39,8	14,6	46,3	17,1
(n-Пентил-2) формиат	42,7	16,1	27,3	9,8	34,8	13,6	29,9	18,3	29,8	11,5	33,6	13,0
(n-Пентил-3) формиат	44,7	16,7	27,9	10,0	36,1	13,7	31,3	18,7	30,9	11,9	35,1	13,4
n-Гексилформиат	114	36,8	60,2	18,5	86,7	29,0	75,7	41,4	72,6	24,1	85,7	28,9
Аллилформиат	15,1	6,5	10,4	4,2	11,7	5,3	10,2	6,9	10,2	4,6	10,9	4,9
Бутилен-1,3-дифор- миат	231	65,2	216	55,7	141	42,0	138	70,9	102	31,5	121	37,0
Метилацетат	8,5	4,1	6,9	3,0	7,0	3,5	6,2	4,0	6,1	3,0	6,1	3,1
Этилацетат	15,0	6,3	10,7	4,2	11,9	5,3	10,2	6,6	10,3	4,6	11,2	4,9
n-Пропилацетат	28,6	11,0	17,1	6,3	22,4	8,9	19,2	11,8	18,8	7,7	21,0	8,4
Изопропилацетат	19,4	7,9	13,6	5,0	16,0	6,8	13,6	8,7	13,8	5,9	15,2	6,4
n-Бутилацетат	54,7	19,2	31,7	10,7	41,2	15,3	36,1	21,5	35,7	13,1	40,7	15,0
Изобутилацетат	41,0	15,2	26,7	9,0	32,5	12,7	28,3	17,1	28,0	10,8	32,0	12,2
втор-Бутилацетат	36,7	13,8	28,3	8,1	30,0	11,7	25,6	15,6	25,8	10,0	29,0	11,0
трет-Бутилацетат	24,4	9,8	14,9	5,5	21,2	8,6	17,9	11,3	18,4	7,7	20,5	8,1
n-Пентилацетат	103	32,9	54,2	16,7	76,1	25,9	65,8	36,5	64,4	21,6	75,0	25,8
Изопентилацетат	81,1	26,8	46,0	14,2	61,9	21,6	53,4	30,6	52,5	18,1	—	—
(Пентил-2) ацетат	65,0	22,4	36,9	11,9	51,6	18,6	44,8	25,4	44,3	15,6	51,0	17,9
(Пентил-3) ацетат	65,2	22,4	37,8	12,0	52,0	18,0	44,6	25,6	44,8	15,8	51,4	17,8
(2-Метилбутил-2) аце- тат	49,9	18,1	27,6	9,5	42,1	15,5	35,8	21,3	36,5	13,5	38,6	15,1
n-Гексилацетат	191	55,3	91,5	25,3	137	41,9	123	62,5	117	35,6	140	46,4
(4-Метилпентил-2)- ацетат	87,1	28,4	48,3	14,1	69,2	23,1	61,3	33,7	59,9	20,3	70,2	23,3
(2-Этилбутил-1) ацетат	148	43,2	74,5	20,8	111	33,7	76,7	50,7	94,9	29,3	111	33,0
n-Гептилацетат	352	90,1	150	37,7	248	67,0	223	111	211	56,6	255	67,9
(2-Этилгексил-1) аце- тат	435	106	184	45,2	313	81,0	283	—	266	67,0	329	81,2
Циклогексилацетат	262	75,8	118	33,0	171	51,5	154	79,3	142	43,2	173	51,6
Винилацетат	12,2	5,5	8,5	3,4	9,8	4,6	8,3	5,6	8,4	3,9	9,3	4,2
Аллилацетат	27,2	10,5	16,9	6,0	20,7	8,3	17,7	11,1	17,3	7,1	19,5	7,8
Изопропенилацетат	22,7	9,1	16,2	5,8	18,0	7,4	15,2	9,8	15,3	6,4	17,0	6,9
Метилдиацетат	114	33,9	98,7	26,5	68,8	21,8	63,5	33,9	51,7	17,1	59,3	19,7
Этилендиацетат	120	35,5	97,6	26,7	75,1	23,6	67,1	36,5	58,9	19,1	68,2	21,8
Этилендиацетат	232	61,8	183	44,9	132	38,3	124	64,9	100	29,8	117	35,1
Метилпропионат	17,0	7,1	11,1	4,3	13,6	5,9	11,7	7,4	11,6	5,2	12,8	5,5
Этилпропионат	27,7	10,6	16,3	5,8	22,0	8,7	18,5	11,7	18,7	7,6	20,9	8,2
n-Пропилпропионат	51,9	18,4	27,7	9,5	40,2	14,8	34,8	20,7	34,6	12,8	39,2	14,5
Изопропилпропионат	—	12,7	—	6,9	28,3	11,0	24,2	14,8	24,5	9,5	28,0	10,5
n-Бутилпропионат	98,7	31,6	47,8	14,6	73,4	24,3	63,6	35,3	62,8	20,9	73,5	24,1
Изобутилпропионат	74,6	24,8	40,1	12,6	58,4	20,0	50,4	28,6	50,3	17,4	58,8	19,8
n-Пентилпропионат	182	51,2	79,0	22,3	131	39,2	115	60,4	112	33,8	133	38,8
Изопентилпропионат	144	42,8	68,3	19,9	108	33,4	93,4	50,6	93,1	28,9	109	33,6
(n-Пентил-2) пропио- нат	113	34,8	54,3	16,1	88,6	28,2	76,7	41,1	76,4	24,4	90,3	28,1
(2-Этилгексил-1) про- пионат	—	166	—	58,2	—	122	454	221	—	105	—	128
Аллилпропионат	50,7	17,6	25,9	8,7	37,8	13,6	32,4	19,1	31,9	11,8	36,7	13,3
Этилендипропионат	—	147	—	76,7	—	87,1	324	159	—	70,0	—	83,4
Метилбутират	30,6	11,5	16,8	6,2	24,1	9,5	20,5	12,6	20,4	8,2	23,1	9,1
Этилбутират	49,5	17,6	26,3	8,9	38,4	14,1	33,0	19,6	33,2	12,3	37,6	13,8
n-Пропилбутират	92,1	29,3	44,8	13,9	69,8	23,1	58,6	32,8	59,7	20,0	70,4	22,9
Изопропилбутират	60,8	19,5	31,7	9,6	48,7	16,2	42,2	24,3	42,6	14,5	48,9	15,7
n-Бутилбутират	171	48,6	74,3	21,4	125	37,4	107	57,0	107	32,2	126	37,9
Изобутилбутират	129	40,2	62,2	18,8	98,9	32,1	85,6	47,8	85,1	27,1	100	31,8
n-Пентилбутират	313	81,6	124	31,3	223	60,7	193	96,8	190	51,7	229	62,3
Изопентилбутират	246	67,6	106	28,5	180	51,6	161	80,9	155	44,2	187	53,0
(n-Пентил-2) бутират	195	54,7	82,8	23,3	148	42,9	133	66,2	128	36,7	152	43,5
(2-Этилгексил-1) бу- тират	—	242	—	76,2	—	176	781	—	—	151	—	182
Винилбутират	41,1	15,1	20,9	7,2	32,0	12,4	27,7	16,7	27,5	10,5	31,0	11,9
Метилизобутират	23,3	9,3	14,0	4,9	19,0	7,9	16,5	10,4	16,5	6,9	18,3	7,4
n-Бутилзобутират	125	38,9	57,3	17,3	96,9	31,3	82,7	46,6	82,9	26,6	97,9	31,9
Изобутилзобутират	96,5	30,9	48,6	14,8	78,0	26,0	67,3	37,0	67,5	22,2	80,2	25,6
Метилакрилат	16,2	7,0	10,4	4,2	12,5	6,5	10,7	6,9	10,6	4,8	11,5	5,2

Сорбат	DC-550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F-50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
Этилакрилат	27,1	10,7	15,7	5,9	20,7	8,4	17,2	11,0	17,4	7,3	19,5	8,0
<i>n</i> -Пропилакрилат	51,5	18,3	27,7	9,4	38,5	14,4	32,8	19,5	32,3	12,3	37,5	13,7
Изобутилакрилат	97,3	31,3	46,6	14,3	70,4	24,0	59,9	33,5	59,6	20,2	70,4	23,9
(2-Этилгексил-1) ак- рилат	—	168	—	58,1	—	118	451	209	—	100	—	123
Аллилакрилат	49,3	17,6	24,8	8,5	35,8	13,3	30,6	18,8	29,7	11,4	33,9	12,6
Метилметакрилат	29,6	11,4	16,0	5,8	22,8	9,2	19,5	—	19,2	7,9	21,8	8,7
Пропилендиакрилат	—	169	—	88,1	—	98,9	364	180	—	76,1	—	94,0
Метилаль	7,5	3,6	4,2	1,9	6,8	3,3	5,7	3,9	6,0	3,0	6,5	3,1
Этилметилформаль	12,8	5,8	6,1	2,6	11,6	5,3	9,8	6,7	9,9	4,6	11,0	5,0
Изопропилформаль	17,9	7,6	7,9	3,2	16,3	7,0	13,9	9,1	14,2	6,1	15,6	6,8
Диэтилформаль	20,8	8,5	8,2	3,3	18,3	7,7	15,5	9,7	15,8	6,7	17,7	7,3
<i>n</i> -Пропилэтилфор- маль	37,8	14,3	13,1	14,8	32,9	12,7	28,2	17,0	28,9	10,9	32,4	12,1
Изопропилэтилфор- маль	28,2	11,0	10,5	3,9	25,4	9,9	22,3	13,0	22,3	8,8	25,3	9,5
<i>втор</i> -Бутилэтилфор- маль	55,0	19,6	16,8	6,1	48,4	17,4	42,1	24,4	41,8	15,2	48,3	17,0
Ди- <i>n</i> -пропилформаль	69,3	23,6	21,2	7,1	59,0	20,1	49,7	28,8	51,4	17,7	60,0	19,8
<i>втор</i> -Бутил- <i>n</i> -пропил- формаль	98,6	32,1	28,7	9,6	84,0	28,1	—	38,9	73,7	24,5	86,1	27,8
Диизопропилформаль	38,8	14,4	13,6	4,7	35,9	13,3	30,7	18,1	31,4	11,7	35,7	12,9
Ди- <i>n</i> -бутилформаль	230	66,6	56,4	17,0	183	53,4	158	83,5	161	45,4	191	54,4
Диизобутилформаль	127	40,1	35,1	11,3	112	35,1	96,6	52,0	97,6	30,7	116	35,9
Ди- <i>втор</i> -бутилфор- маль	139	41,5	37,7	11,0	120	36,0	104	55,3	104	31,3	124	36,9
Этиленгликольфор- маль	17,6	7,8	10,3	4,2	12,9	6,0	11,3	7,6	10,8	5,1	11,9	5,5
Пропиленгликоль-1,2- формаль	23,1	9,4	12,6	4,8	17,5	7,5	14,8	9,4	14,7	6,5	16,7	7,0
Пропиленгликоль-2,3- формаль	38,4	14,9	21,9	8,0	25,8	10,9	23,0	14,7	21,9	9,2	24,8	10,2
Бутиленгликоль-1,3- формаль	47,4	18,0	24,2	8,6	33,7	13,6	30,0	18,5	28,5	11,7	33,0	13,2
Бутиленгликоль-2,3 формаль	34,7	14,2	17,1	6,1	27,1	11,4	24,2	14,9	23,6	9,7	26,8	10,7
Бутиленгликоль-1,1 формаль	61,6	23,6	28,3	10,5	43,4	17,7	38,1	23,6	37,0	14,8	21,8	16,9
Нсоленгилгликоль- формаль	62,6	22,6	33,1	11,5	45,7	17,5	40,5	23,9	39,2	15,1	45,7	17,3
Диметилацеталь	12,2	5,5	5,6	2,6	11,0	5,1	9,2	6,4	9,4	4,5	10,3	4,7
Диэтилацеталь	27,8	10,8	10,3	3,8	24,7	9,7	—	12,2	21,8	8,4	24,7	9,1
Ди- <i>n</i> -пропилацеталь	84,4	27,1	24,2	7,6	73,3	24,1	62,2	35,8	64,5	21,1	75,0	24,1
Диизобутилацеталь	145	43,5	37,2	11,5	131	40,4	112	58,6	117	35,2	137	40,6
Этиленгликольаце- таль	21,3	9,0	10,4	4,1	16,1	7,0	13,8	9,0	13,7	6,1	15,2	6,6
Бутиленгликоль-1,3- ацеталь	50,2	18,3	15,8	6,2	37,2	14,3	32,2	19,6	31,6	12,3	36,4	13,8
Диметилпропилаль	22,4	9,3	9,9	3,9	19,8	8,4	16,9	10,6	17,2	7,3	19,2	8,0
Диэтилпропилаль	46,7	16,8	15,1	5,3	41,5	15,1	35,5	21,1	36,6	13,3	41,6	14,9
Диметилбутираль	40,4	14,9	15,2	5,4	35,1	13,3	30,1	18,2	30,7	11,6	34,9	13,0
Ди-2-этил-1-бутилбу- тираль	—	568	—	84,9	—	448	—	—	—	393	—	496
Бутиленгликоль-1,3 бутираль	155	47,4	41,2	12,9	110	34,7	95,7	51,2	95,4	29,9	111	34,8
Диметилдибутираль	31,3	12,2	12,5	4,6	28,4	10,6	24,0	14,9	24,9	9,8	27,6	10,8
Акролеиндиэтилаце- таль	47,4	16,9	15,0	5,2	39,6	14,5	33,6	20,3	34,2	12,7	39,1	14,3
Дибутилкротональ	—	184	—	34,0	—	138	—	—	—	118	—	146
4,4-Диметоксибута- нон-2	148	44,3	105	29,1	90,9	29,3	87,0	44,8	71,3	23,8	83,1	27,8
2,2-Диметоксипропан	17,9	7,6	7,9	2,9	16,3	7,2	13,8	9,2	14,3	6,3	16,0	6,8
2,2-Диэтоксипропан	34,2	13,0	10,3	3,9	32,1	12,3	27,5	—	28,3	10,9	32,2	12,3
2,2-Диалкилоксипро- пан	115	36,0	31,0	9,7	92,3	29,5	—	—	80,2	25,3	93,4	29,5
2-Этил-2 метил 1,3 диоксац	50,8	18,7	17,9	—	38,9	15,1	34,1	21,9	33,8	12,8	38,4	14,4

Сорбат	DC 550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F 50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
Диметиловый эфир	2,1	1,3	1,3	0,8	2,1	1,4	2,0	1,5	1,8	1,1	2,0	1,2
<i>n</i> -Пропилметиловый эфир	7,1	3,5	3,0	1,6	7,0	3,4	5,6	3,9	6,2	3,1	6,7	3,3
<i>n</i> -Бутилметиловый эфир	14,0	6,1	5,3	2,4	13,6	6,1	11,2	7,3	11,8	5,3	13,0	5,7
Изобутилметиловый эфир	10,3	4,8	4,3	1,9	10,6	4,9	8,7	5,6	9,3	4,3	10,1	4,6
<i>трет</i> -Бутилметиловый эфир	9,5	4,5	4,2	2,0	9,7	4,6	8,1	5,3	8,5	4,0	9,2	4,3
Диэтиловый эфир	6,0	3,0	2,4	1,2	6,1	3,0	4,9	3,4	5,3	2,7	5,7	2,9
<i>n</i> -Бутилметиловый эфир	21,2	8,8	6,6	2,9	20,8	8,6	17,5	10,1	18,1	7,5	19,9	8,2
<i>трет</i> -Бутилэтиловый эфир	12,7	5,6	4,3	2,1	13,3	5,9	10,7	7,0	11,4	5,2	12,5	5,6
Аллилэтиловый эфир	12,2	5,5	4,6	2,1	11,4	5,2	9,5	6,2	9,8	4,5	10,7	5,0
Ди- <i>n</i> -пропиловый эфир	20,1	8,3	6,0	2,7	20,2	8,2	16,6	10,5	17,5	7,3	19,4	7,9
Изопропил- <i>n</i> -пропиловый эфир	15,0	6,5	4,7	2,2	15,2	6,7	12,8	8,0	13,3	5,9	14,6	6,4
Диизопрпиловый эфир	10,7	4,9	3,8	1,7	11,4	5,3	9,5	6,2	10,1	4,6	11,0	4,9
<i>трет</i> -Бутилизопрпиловый эфир	16,5	7,1	5,7	2,6	17,7	7,7	14,8	9,4	15,6	6,7	17,3	7,3
Ди- <i>n</i> -бутиловый эфир	70,0	23,5	—	5,8	65,4	21,7	54,3	31,6	57,7	19,3	66,3	21,9
Ди- <i>n</i> -пентиловый эфир	241	64,1	51,3	14,1	207	55,5	183	89,3	181	48,7	218	57,3
Диизопентиловый эфир	145	43,9	35,4	11,3	134	40,5	117	61,6	118	35,8	140	41,8
Ди- <i>n</i> -гексиловый эфир	—	179	—	33,9	—	148	579	253	—	128	—	153
(2-Этил-1)бутиловый эфир	—	100	—	21,1	—	90,3	320	151	—	80,5	—	96,5
Винилэтиловый эфир	6,4	3,2	2,8	1,3	6,2	3,0	5,0	3,4	5,4	2,7	5,9	2,9
Винил- <i>n</i> -бутиловый эфир	23,3	9,4	8,5	3,3	21,3	8,7	18,3	11,1	18,6	7,7	20,8	8,4
Винилизобутиловый эфир	17,2	7,3	6,9	2,8	16,7	7,2	14,0	8,5	14,8	6,3	16,1	6,8
(2-Этил-1)гексилвиниловый эфир	188	54,6	47,2	14,5	164	48,8	147	73,6	144	41,8	170	50,5
Этиленгликольдиметиловый эфир	19,9	8,2	10,2	3,9	15,8	6,8	13,6	8,7	13,5	5,9	15,2	6,4
Этиленгликольдибутиловый эфир	464	114	97,8	25,8	336	87,1	301	147	288	72,9	356	88,2
Этиленоксид	4,6	2,6	3,7	1,9	3,9	2,2	3,2	2,2	3,2	1,9	3,5	2,6
Пропиленоксид	7,0	3,5	5,4	2,6	5,7	3,1	4,9	3,5	5,2	2,7	5,4	2,9
Пропиленоксид-1,3	12,1	5,6	7,7	—	9,2	4,4	7,9	5,3	7,9	4,0	8,6	4,2
Бутиленоксид-1,2	14,1	6,4	10,0	4,1	11,7	5,4	9,7	6,6	10,0	4,7	10,9	5,0
Бутиленоксид-1,3	14,5	6,5	9,2	3,9	11,8	5,5	9,7	6,8	10,1	4,8	11,1	5,1
Бутиленоксид-2,3, <i>транс</i>	10,0	4,5	7,4	3,2	8,6	4,0	7,5	5,1	7,4	3,5	8,1	3,8
Бутиленоксид-2,3, <i>цис</i>	12,9	5,9	9,3	4,0	10,7	5,0	9,2	—	9,2	4,4	10,0	4,7
Тетрагидрофуран	18,4	8,3	10,2	4,2	14,4	6,7	12,3	8,4	12,6	5,9	13,8	6,3
2-Метилпропиленоксид-1,2	9,3	4,5	7,2	3,1	8,1	3,9	6,9	4,7	7,0	3,4	7,7	3,6
2-Метилтетрагидрофуран	22,7	9,7	10,5	4,3	18,9	8,1	16,1	10,3	16,3	7,2	18,2	7,9
2,5-Диметилтетрагидрофуран	25,4	10,6	10,4	4,1	22,3	9,4	19,1	12,1	19,8	8,3	22,1	9,0
Фуран	7,2	3,5	3,4	1,7	6,3	3,2	5,5	3,4	5,5	2,9	5,9	3,0
2-Метилфуран	14,1	6,3	5,8	2,6	12,0	5,6	10,4	7,1	10,6	5,0	11,6	5,3
4,5-Дигидро-2-метилфуран	22,6	9,8	8,1	3,4	18,9	8,3	—	—	16,2	7,1	18,1	7,9
3,4-Дигидроксипиран	27,8	11,8	11,2	4,5	22,2	9,5	—	11,9	19,6	8,4	21,7	9,1
Тетрагидропиран	30,3	12,6	14,0	5,6	24,2	10,6	—	13,3	20,9	9,2	23,9	10,0
6-Метил-2,4,7-триоксоктан	82,5	27,3	32,5	10,4	60,4	20,8	54,1	29,9	51,1	17,8	59,9	20,2

Сорбат	DC-550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F-50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
2-Хлорэтанол	30,2	11,4	15,3	5,7	26,1	9,2	22,3	—	16,8	7,0	17,4	—
2-Гидроксипропанол-2	39,2	14,2	31,9	10,5	28,6	10,7	27,8	16,7	20,9	8,4	23,4	9,0
4-Гидроксипропанол-2	—	26,1	—	21,1	—	19,0	58,2	32,0	—	13,5	—	14,5
1-Гидрокси-2-метилпропанол-2	125	38,1	95,8	28,3	95,7	28,1	90,4	47,1	59,9	19,9	67,2	22,2
2-Гидрокси-2-метилпропанол-3	41,4	15,4	33,6	11,5	31,5	12,0	31,2	18,4	23,9	9,8	27,0	10,4
4-Гидрокси-4-метилпентанол-2	87,9	28,6	76,0	22,1	60,7	—	61,9	33,5	46,4	16,4	53,7	18,2
3-Метоксибутаналь	50,1	18,2	39,7	13,0	34,0	13,0	29,7	18,0	27,4	10,7	31,9	12,2
4-Ацетокситетрагидропиран	—	87,0	—	44,5	—	54,4	190	95,0	—	44,8	—	51,9
2-Метоксиэтанол	21,1	8,8	12,5	4,8	17,7	7,2	15,2	9,5	13,4	5,9	14,3	6,1
2-Этоксиэтанол	33,5	12,8	17,3	6,4	27,3	10,6	24,2	14,6	21,1	8,6	23,3	9,2
2-Бутоксиэтанол	113	35,5	47,1	14,7	88,7	28,1	81,1	42,5	68,5	23,0	79,0	25,4
2-Аллилоксиэтанол	69,8	22,7	31,6	10,3	53,4	18,1	51,1	27,4	39,2	14,2	43,6	15,4
2-Метоксипропанол-1	31,8	11,9	17,6	6,3	26,1	10,0	23,9	13,9	20,1	8,2	22,2	8,7
8-811												
2-Этоксипропанол-1	45,4	16,3	22,1	7,7	36,0	13,5	—	20,0	29,2	11,2	33,2	12,1
3-Этоксипропанол-1	—	25,6	35,6	11,4	58,5	19,2	54,3	30,3	44,8	15,4	50,0	16,8
1-Метоксипропанол-2	25,4	9,8	13,6	5,1	20,9	8,4	18,6	11,4	16,6	7,1	18,4	7,3
1-Пропоксипропанол-2	67,7	23,0	29,5	9,3	55,8	19,1	51,6	29,3	44,3	16,0	51,7	17,8
3-Метоксибутанол-1	75,5	24,6	39,5	12,2	57,3	19,0	53,5	30,1	43,6	15,1	49,1	16,4
1-Этоксипентанол-3	160	47,0	58,8	10,7	116	35,3	112	54,0	93,3	29,3	109	33,4
4-Метокси-4-метилпентанол-2	129	40,3	69,0	—	94,8	30,8	90,5	46,4	77,6	26,0	90,9	29,4
2-Метоксиэтилвиниловый эфир	32,9	12,3	14,1	5,1	24,9	9,7	21,9	13,2	21,3	8,3	23,9	9,0
Ди(2-этилгексильный) эфир	327	83,6	86,0	22,9	203	56,2	181	89,8	168	46,7	204	55,0
(3-Метокси-1)бутилацетат	171	48,9	90,6	25,2	113	34,9	107	53,8	94,0	29,4	110	33,7
2-Метоксиэтилацетат	73,5	23,2	42,9	13,1	47,2	16,3	45,5	25,1	38,4	13,8	43,7	15,0
2-Этоксипропилацетат	109	32,9	53,3	16,0	70,6	22,8	66,4	36,2	58,0	19,2	67,5	21,6
Ацетонилацетат	110	32,9	109	29,6	66,3	20,9	65,8	33,5	48,3	16,1	55,5	17,9
(3-Метокси-1)бутилакрилат	169	48,7	89,6	24,9	113	34,9	107	53,8	94,2	29,2	110	33,2
1,1,3-Триметоксибутан	122	37,8	44,9	23,6	91,5	29,0	79,8	429	77,6	24,2	90,1	28,5

Сорбат	DC-550		QF-1		SE-30		SE-30*		SE-31		Versilub F-50	
	120 °C	160 °C	120 °C	160 °C								
Метоксиметилаль	29,6	11,7	15,1	5,4	23,3	9,5	—	12,4	19,7	8,1	22,3	8,7
Диметоксиметилаль	104	32,7	49,9	14,9	72,4	24,0	65,6	35,2	60,1	19,9	69,7	22,6
Триметоксиметилаль	353	92,1	150	37,6	221	59,7	203	99,6	173	47,9	208	57,6
1,4-Диоксан	34,1	13,4	18,6	6,8	24,0	9,9	21,1	13,3	20,1	8,5	22,8	9,4
Триоксан	32,7	13,0	18,4	7,1	21,9	9,1	20,6	12,5	17,6	7,6	14,8	8,1
1,3,5-Триоксепан	64,1	23,1	33,4	11,3	43,1	16,3	38,0	23,0	34,7	13,5	40,5	15,3
Паральдегид	47,0	16,5	13,6	4,5	34,5	12,7	30,3	17,4	29,2	11,0	32,9	12,1
Вода	5,7	3,2	2,9	1,8	4,1	2,7	2,3	1,5	3,4	2,5	5,8	4,6

Примечания. Все неподвижные фазы нанесены на целит, покрытый 0,5% дегтерента polyergent J-300. Силиконы DC-550, QF-1, SE-30 SE-31, versilub F-50 нанесены на носитель в количествах, соответственно, 20,4%; 20,1%; 20,0%; 20,3%; 19,9%. Необходимо отметить, что добавка дегтерента к сорбенту, покрытому силиконом, резко ухудшает эффективность колонки и увеличивает кривозичность и потери адсорбции на границе раздела жидкость — носитель. Поэтому следует относиться осторожно к приведенным в табл. II.2.В данным и считать их оценочными. Достоверными являются относительные величины удерживания близких по полярности веществ, изомерных соединений. Приведенные в табл. II.8 сорбенты тренировали в таких условиях: 18 ч при 160 °C, затем — 48 ч при 180 °C — все сорбенты, за исключением SE-30, для которого режим: 169 ч при 160 °C, 3 ч — при 190 °C. Поскольку приведенные в данной таблице величины определены для технических силиконов, в процессе тренировки сорбентов часть неподвижной фазы улетучивается из колонки; следовательно, абсолютные величины удерживания уменьшаются, в процессе тренировки сорбентов часть неподвижной фазы улетучивается из колонки; следовательно, абсолютные величины удерживания относительных величин удерживания.

McReynolds W. O. Gas Chromatographic Retention Data, Preston Techn. Abstr. Co., 1966, 182 p.

## Глава 3

## ПОЛЯРНЫЕ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ

В табл. II.9—II.11 приведены основные сведения по температурам использования, растворителям, избирательности наиболее широко используемых в ГЖХ полярных неподвижных фаз. Многие из приведенных в этих таблицах неподвижных фаз обладают близкой избирательностью, а избирательность части неподвижных фаз можно моделировать при использовании смеси стандартных неподвижных фаз. Поскольку в литературе приведено большое число аналитических методик на самых разнообразных неподвижных фазах, данные табл. II.10 помогут исследователю заменить дефицитные неподвижные фазы на близкие по избирательности для разделяемых смесей. Следует обратить внимание на то, что избирательность полиэфиров зависит от технологии их получения, а также на необходимость использования стабилизаторов для этого класса неподвижных фаз.

Основной недостаток полиэфирных неподвижных фаз — невозможность контроля степени полимеризации этих соединений. Различия в технологии получения этих неподвижных фаз приводят к тому, что избирательность образцов, выпускаемых различными фирмами, различается на 2—5 ед. индекса Ковача. Более того, при термической тренировке колонок может происходить дополнительная полимеризация полиэфирных неподвижных фаз, приводящая к образованию неэкстрагируемого обычными растворителями слоя полимера. Это заставляет с определенной осторожностью относиться к опубликованным характеристикам избирательности подобных неподвижных фаз.

Как показывают данные табл. II.10, многие полярные неподвижные фазы обладают примерно одинаковыми характеристиками избирательности, если таковые выражать через критерии Мак-Рейнольдса. Возможные варианты взаимозаменяемости этих неподвижных фаз обсуждены в гл. I, ч. I, а соответствующие таблицы приведены под № II.9—II.11, что позволяет читателю оценить возможность замены ряда фирменных полярных неподвижных фаз индивидуальными веществами известной химической природы; это облегчается сведениями из табл. II.10, в которой приведен список неподвижных фаз, выпускаемых трестом «Союзреактив».

Для капиллярной хроматографии со стеклянными колонками рекомендуется использовать неподвижные фазы типа полиэтиленгликолей; очищенные от следов катализатора полиэтиленгликоли под фирменной маркой «Суперокс» и сополимеры полиэтилен- и полипропиленгликоля под названием Pluronic, по-видимому, являются оптимальными полиэфирными неподвижными фазами для капиллярной хроматографии со стеклянными колонками.

Таблица 11.9. Свойства полярных неподвижных фаз

Неподвижная фаза	Плотность (в г см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
Адиподинитрил	0,94	3	50	X
Ацегатизобутират сахаразы	—	20	175	X, T
Ацетилацетон	0,97	—	20	A, X, B
О-Ацетилтрибутилцитрат	—	20	180	A
Ацетонилацетон	—	»	20	A
Бензилбензоат	1,1	»	70	Э, Эт
2-(Бензилокси)-этанол	1,02	»	35	X
Бензилцианид	—	»	30	X, A
Бензилэтиловый эфир	—	43	60	Ээ, Эт
Бензойный ангидрид	1,00	20	60	Ээ, Эт
Бензонитрил	—	50	60	X
7,8-Бензохиолин	—	52	100	X, A
Бис(2-метоксиэтил)адипинат	—	20	100	X, A
Бис(2-метоксиэтил)глутарат	1,08	—	100	X, A
Бис(2-метоксиэтил)себацинат	—	—	100	X, A
Бис(2-метоксиэтил)фталат	1,17	—	100	X, A
Бис[2-(2-метоксиэтиловый) эфир]	—	—	50	X
Бис(тетрагидрофурурил)фталат	—	—	100	X
Бис(3,5,5-триметилхилогексил)фталат	—	50	150	A, Г
Бис(м-феноксифеноксид)-бензол, 5 колец	—	20	200	B, X, A
Бис(м-феноксифеноксид)-бензол, 6 колец	—	»	225	B, X, A
N,N'-Бис(2-цианэтил)формамид	—	20	120	X
N,N'-Бис[2-(2-этилгексаноилокси)этил]2-этилгексанамид	—	»	175	X, A
Бис(2-этилгексил)адипинат	—	—	150	Ээ
Бис(2-этилгексил)малеат	—	20	150	X, A
Бис(2-этилгексил)себацинат	0,92	»	150	X, A
Бис(2-этилгексил)сукцинат	—	»	150	X, A
Бис(2-этилгексил)тетрахлорфталат	—	»	150	X, A
Бис(2-этилгексил)фталат	0,99	»	150	X
Бис(2-этоксидэтил)адипинат	—	—	100	X
Бис(2-этоксидэтил)фталат	—	—	100	X
1-Бромгексадекан	1,48	20	50	Э, B, Г
1-Бромнафталин	—	»	50	B

Продолжение табл 11.9

Неподвижная фаза	Плотность (в г см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- гель
Бруцин	—	—	100	X
Бутандиол-2,3	—	60	200	X, A
Бутандиол-1,4-адипинат	—	—	180	A, X
Бутандиол-1,4-глутарат	—	—	180	A, X
Бутандиол-1,4-себацинат	—	—	180	A, X
Бутандиол-1,4-сукцинат	—	—	180	A, X
n-Бутилстеарат	—	20	30	B, Ээ
γ-Бутиролактон	1,13	»	30	B, Ээ
1,2,3,4,5,6-Гексакис(2-цианэтоксид)гексан	—	»	180	A, X
Гексакис(2-цианэтоксид)циклогексан	—	125	180	X
Гексаметилфосфорамид	1,02	20	40	X
Гексантриол	—	76	150	A, Эт
Глицерин	1,26	20	70	Эт
Глутародинитрил	1,00	»	40	A
Глюкозодиэтилдимеркаптал	—	—	170	Эт
n-Дециловый спирт	—	20	50	Эт
Дибензиловый эфир	1,04	»	50	A, X
Дибензилсебацинат	—	»	120	Ээ
Дибензилфталат	—	»	140	Ээ
Ди-n-бутилмалеат	—	20	50	A, X
Ди-n-бутилсебацинат	0,94	»	50	A, X
Ди-n-бутилартрат	1,03	»	60	Ээ
Ди-n-бутилтетрахлорфталат	1,31	»	100	A, X, B
Ди-n-бутилфталат	1,04	»	50	A, X, B
Дигексил-n,n'-динитрофеноат	—	—	140	X
Ди-n-гексилфталат	1,07	—	120	X
Диглицерин	—	20	100	Эт
Ди-n-децилфталат	—	»	120	A, X
Ди-n-додецилфталат	0,94	»	150	A, X
Динздодециладипинат	—	»	120	A
Динздодецилфталат	—	»	150	A, X
Диизооктиладипинат	—	»	120	A
Диизооктилсебацинат	—	»	150	A, X
Диизооктилфталат	—	»	150	A
Диизопропилфталат	—	»	100	A
Дикарбитолфталат	—	—	160	X
Диметилолеиламид	—	20	150	X
Диметилстеарамид	—	40	130	A, X
Диметилсульфид	—	—	50	A
Диметилсульфоксид	1,10	20	30	A, X
Диметилсульфолан	1,13	»	35	A, X
Диметилсульфон	—	»	30	A
N,N-Диметилформамид	0,95	»	30	A, X, Ээ
Диметилфталат	1,19	»	80	Ээ
Динитрил себаценовой кислоты	—	20	80	X
Динонилсебацинат	1,10	»	150	X
Динонилфталат	—	»	120	A, X
Диоктилазеланин	—	—	120	Эт
Ди-n-октилсебацинат	—	20	120	A, X
Ди-n-октилфталат	0,97	»	140	A, X

Продолжение табл. 11.9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
Ди- <i>n</i> -октилсульфосукци- нат натрия	—	—	100	X
Дипропиленгликоль	—	—	75	X
Ди- <i>n</i> -пропилсульфон	—	—	60	A
Ди- <i>n</i> -пропилтетрахлор- фталат	—	20	70	Эт
Ди- <i>n</i> -пропилфталат	—	»	50	A
Дифенилметан	1,01	26	80	Ээ, Б
Дифенилформамид	—	73	100	Эг, Б
Дифенилфталат	—	74	130	X
1,4-Диформил-2-метил- пиперазин	—	—	150	A
1,5-Дициано-3-нитро-3- метилпентан	—	—	110	X
Ди (2-цианэтиловый) эфир пропиленгликоля	—	20	190	X
Ди (2-цианэтиловый) эфир триэтиленгликоля	—	»	120	X
1,4-Ди (2-цианэтоксид) бу- тан	—	»	120	A
1,4-Ди (2-цианэтоксид) - гидрохинон	—	—	140	A
Ди (2-цианэтоксид) диети- ловый эфир	—	20	120	X
1,2-Ди (2-цианэтоксид) - пирокатехин	—	—	150	X
1,2-Ди (2-цианэтоксид) про- пан	—	—	100	X
1,3-Ди (2-цианэтоксид) ре- зорцин	—	—	150	X
1,2-Ди (2-цианэтоксид) этан	—	20	100	X
Диэтиленгликоль	1,12	»	50	Ээ, Эт
Диэтиленгликольдипи- нат (поли)	—	20—50	200	A, X
Диэтиленгликольглута- рат (поли)	—	—	200	A, X
Диэтиленгликольдобен- зоат	—	—	170	A, X
Диэтиленгликольдибути- рат	0,89	—	80	A, X
Диэтиленгликоля диме- тиловый эфир	0,95	20	50	A
Диэтиленгликольдипро- пионитрил	—	»	130	X
Диэтиленгликольдистеа- рат	—	—	200	A, X
Диэтиленгликольизофта- лат (поли)	—	—	200	X
Диэтиленгликольсеба- цинат (поли)	—	—	200	A, X
Диэтиленгликольсукци- нат (поли)	—	—	200	A, X
Диэтиленгликольтерефта- лат (поли)	—	—	200	A, X
Диэтиленгликоля диети- ловый эфир	0,91	20	25	A, X

Продолжение табл. 11.9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
Диэтиленгликоля этило- вый эфир	0,99	20	60	A
Диэтилсебацинат	—	»	75	A
Диэтилсукцинат	—	»	75	A, X
Диэтил- <i>D</i> -тарат	—	»	50	Эг
<i>N,N</i> -Диэтилформамид	—	—	20	Эт
Додецилбензолсульфонат натрия	—	20	200	X
Дульцит	—	190	200	Вода
Изофталевая кислота	—	—	100	Эт
Изохинолин	—	27	50	X
3,3 Иминодипропионит- рил	—	20	60	X
1-Иоднафталин	—	»	80	Ээ
Ланолин (шерстяной воск)	—	37	200	X
<i>D</i> -Маннит	—	170	200	Вода
2-Метокси (2-цианэто- кси) диэтиловый эфир	—	20	80	X
Моноолеат сорбита	—	»	100	X, T
Моностеарат сорбита	—	—	100	T
<i>N</i> - (Морфолил-2) крипто- нитрил	—	—	100	X
<i>N</i> - (Морфолил-2) пропио- нитрил	—	—	70	X
Неопентилгликольдипи- нат (поли)	—	50	200	X
Неопентилгликольизо- фталат (поли)	—	50	220	X
Неопентилгликольсеба- цинат (поли)	—	50	200	X
Неопентилгликольсукци- нат (поли)	—	50	200	X
Нитробензол	1,20	20	50	B, Ээ
1-Нитронафталин	—	60	60	X, A
3-Нитротолуол	1,16	20	30	X
Нонилфеноксиполи (эти- ленокси) этанол	—	—	150	X, A
4-Нонилфенол	—	—	125	X
Оксидипропионитрил	—	20	80	A
Октаацетат сахарозы	—	—	100	T
1-Октадециловый спирт	—	60	100	X
Октакис- <i>O</i> - (2-оксипро- пил) сахароза	—	20	175	X
Октадециладипинат	0,92	»	125	X
<i>n</i> -Олеилнитрил	—	»	100	A
Пентадиол-1,5-ади- пат (поли)	—	—	180	X
Пентадиол-1,5-сукци- нат (поли)	—	—	180	X, A
Пентаэритриттетрааце- тат	—	81	125	A
Пентаэритрит, тетра- бензоат	—	—	150	X
Пентаэритрит, тетрабу- тират	—	—	140	X

Продолжение табл II 9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
Пентаэритрит, тетрава- лерат	—	—	150	X
Пентаэритрит, тетрака- принат	—	—	150	X
Пентаэритрит, тетра- капронат	—	—	150	X
Пентаэритрит, тетралау- рат	—	53	150	A
Пентаэритрит, тетрастеа- рат	—	70	150	A
Поливинилпирролидон	—	20	200	T
Поликарбонат дифени- лолпропана	—	—	250	X
Полифениловый эфир, 20 колец	—	125	350	X
Полиоксиэтиленсорби- танмоноолеат	—	—	150	X, Ээ
Полиоксиэтиленсорби- танмоностеарат	—	—	150	X, Ээ
Полиоксиэтиленсукци- нат	—	—	150	Эт
Поли(оксиэтиленокси- пропилен)	—	20	200	Эт
Пропандиол-1,2	1,04	50	150	X
Пропиленгликоль-1,2- адипинат (поли)	—	50	200	X, A
Пропиленгликоль-1,2- глутарат (поли)	—	—	200	X, A
Пропиленгликоль-1,2-ди- бутират	—	20	100	A
Пропиленгликоль-1,2-ма- леат (поли)	—	—	200	X
Пропиленгликоль-1,3-се- бацинат (поли)	—	—	200	X, A
Пропиленгликоль-1,2-фта- лат (поли)	—	—	210	X
Пропиленгликолькарбо- нат	—	20	50	X, A
Ацетатизобутират саха- розы	—	»	175	X, T
D-Сорбит	—	100	140	Вода
Сульфолан	—	24	30	A
Тетрадеканол-1	—	38	100	Эт
1,2,3,4-Тетракис(2-циан- этоксид)бутан	—	—	150	X, A
2,2,4,4-Тетраметилцикло- бутандиол-1,3-адипи- нат (поли)	—	100	250	X, A
2,2,4,4-Тетраметилцикло- бутандиол-1,3-сукци- нат (поли)	—	100	250	X, A
Тетрацианэтилпентаэрит- рит	—	30	150	X, T
Тетраэтиленгликоль	—	20	70	A, X
Тетраэтиленгликоля ди- этиловый эфир	—	»	70	X

Продолжение табл II 9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель	
Тиодипропионитрил	1,11	20	70	X, A	
o-Толуидин	—	—	20	Ээ	
Триацетин	—	20	50	X	
Трибутилфосфат	0,97	»	100	Ээ	
Трибутилцитрат	1,10	»	120	Эт	
Трибутирин (эфир гли- церина)	1,04	—	50	Эт	
Тридеканолполиэтилен оксид	—	—	200	A, T	
Трикрезилфосфат	1,18	20	120	X	
Три(2,4-ксиленил)фосфат	1,15	—	150	X, A	
1,1,1-Триметилпропан	—	58	190	Эт	
Триметилпропантрипе- ларгонат	—	20	200	X, A	
Трис(тетрагидрофуруфу- рил)фосфат	—	»	120	A	
1,1,1-Трис(2-цианэтоксид)- ацетофенон	—	—	130	A	
1,1,1-Трис(2-цианэтоксид) метил)пропан	—	20	180	X, A	
1,1,1-Трис(2-цианэто- ксид)пропан	—	»	180	X, A	
Тристеарин (эфир глице- рина)	—	72	175	Ээ	
Трифенилфосфат	—	—	50	130	X, B
N-Трифторацетил-L-ва- лил-L-валин, циклогекси- ловый эфир	—	115	150	X	
N-Трифторацетил-L-β-фе- ниланиламина, цикло- гексильовый эфир	—	—	65	150	X
Триэтиленгликоль	1,12	20	70	Эт	
Триэтиленгликольадипи- нат (поли)	—	—	150	X, A	
Триэтиленгликольдиаце- тат	—	20	50	A	
Триэтиленгликольдибу- тират	1,04	»	80	A	
Триэтиленгликольсеба- цинат (поли)	—	—	150	X, A	
Триэтиленгликольсукци- нат (поли)	—	—	150	X, A	
Триэтиленгликольфта- лат (поли)	—	—	120	X	
Ундеканол-1	0,83	20	45	Ээ, Эт	
Фталонитрил	—	141	150	A	
1-Хлорнафталин	1,19	20	50	X	
Циклогексан-1,4-димер- таноладипинат (поли)	—	100	200	X, A	
Циапозилсахароза	—	20	125	X, A	
Циклогексан-1,4-димер- таноладипинат (поли)	—	100	200	X, A	
Циклогексан-1,4-димер- таноладипинат (поли)	—	100	200	X, A	
Циклогексан-1,4-димер- таноладипинат (поли)	—	100	200	X, A	
D-Циклодекстрина ацетат	—	170	200	A	
Эритрит	—	120	150	Эт	

Продолжение табл II 9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
Этилацетоацетат	1,03	20	50	А
Этилбензоат	1,04	»	50	Ээ
2-Этилгександиол-1,3-адипинат (поли)	—	—	230	Х
2-Этилгександиол-1,3-себацинат (поли)	—	—	230	Х
2-Этилгександиол-1,3-сукцинат (поли)	—	—	200	Х
Этиленгликоль	1,12	20	30	Эт
Этиленгликольадипинат (поли)	—	—	200	Х, А
Этиленгликольглутарат (поли)	—	—	200	Х, А
Этиленглицольдистеарат	—	—	150	Ээ, Х
Этиленглицольизофталат (поли)	—	100	230	Х
Этиленглицольсебацинат (поли)	—	—	200	Х, А
Этиленглицольсукцинат (поли)	—	—	200	Х, А
Этиленглицольтерефталат (поли)	—	—	200	Х
Этиленглицольтетрахлорфталат (поли)	—	120	200	Х
Этиленглицоль-о-фталат (поли)	—	100	200	Х
Этиленкарбонат	—	37	40	Эт
Aikaterge T	Замещенный оксазолин	60	75	Х
Arneel OD	Олеилнитрил	—	100	
Arneel SD	Алифатический нитрил из соевого масла	—	75	
Aroclor 1232	Смесь хлорированных бифенилов и полифенилов	50	75	Х
Aroclor 1254	То же	30	75	Х
Atpet 80	Моноолеат сорбита	—	100	Х, А
Benzyl cellosolve	2-(Бензилокси)-этанол	0	50	Х
Carbowax 200	Полиэтиленгликоль, м м			
	190—210	20	70	Х, А
Carbowax 300	285—315	20	80	Х, А
Carbowax 400	380—420	20	100	Х, А
Carbowax 600	570—630	30	110	Х, А
Carbowax 1000	950—1050	40	120	Х, А
Carbowax 1540	1300—1600	50	140	Х, А
Carbowax 2000	1900—2200	60	150	Х, А
Carbowax 3000	2700—3300	60	160	Х, А
Carbowax 4000	3000—3700	60	170	Х, А
Carbowax 6000	6000—7500	70	170	Х, А
Carbowax 10000	8500—11500	70	190	Х, А
Carbowax 15000	13000—17000	70	220	Х, А
Carbowax 20M	15000—20000	80	250	Х, А
Carbowax 40M	35000—40000	100	250	Х, А
Carbowax 400 dioleate	Диолеат ПЭГ м.м. 900	—	120	Х, А
Carbowax 4000 dioleate	То же, м.м. 4500	—	220	Х, А
Carbowax 600 monostearate	»	—	120	Х, А

Продолжение табл II 9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
Castorwax	Гидрогенированное касторовое масло	90	200	Х, А
Celan	Триметилпропантрипеларгонат	20	200	Х, А
Cetamol Q	Хлорированный диалкилфосфат	—	80	Х
Chlorowax 70	Хлорированный парафин	—	125	Х
Citroflex A-4	Ацетилтрибутират	20	180	А
Citroflex 4	Трибутилцитрат	»	150	
Convachlor 12	Хлорированное углеводородное масло	—	200	Х
Cyano-B	Тетраakis (2-цианэтокси) бутан	100	150	Х, А
Cyclo-N	Гексакис (2-цианэтокси) циклогексан	125	170	Х
DEGS-PS	Диэтиленглицольсукцинат с фосфорной кислотой	—	200	Х, А
Dowfax 9N9	Нонилфеноксиполи (этиленокси) этанол	—	150	А
Dowfax 9N15	»	—	150	Х
Dowfax 9N40	»	—	200	Х, А
Emulphor 0	Полиэтиленгликоль, этерифицированный деканолом	—	200	Х
Emulphor ON-870	Октадециловый эфир полиэтиленгликоля	20	175	Х
Epikote 828	Эпоксидная смола	50	200	Х
Epon 1001	То же	50	200	Х, А
Estynox	»	—	175	Х
Ethofat 60/25	Моностеарат полиэтиленгликоля	50	125	Т, Х
FFAP	Полиэтиленгликоль-20000, терминированный 2-нитротерефталевой кислотой	50	250	Х
Flexol 10-10	Ди-н-децилфталат	20	125	Х, А
Flexol 380	Бис (2-этилгексил) фталат	»	160	Х
Flexol A-26	Бис (2-этилгексил) адипинат	—	150	Эт
Flexol 2GB	Диэтиленглицольдидбензоат	—	170	Х
Flexol 3GO	Триэтиленглицольдикаприлат	—	—	—
Flexol 8N8	Бис[(этилгексаноилокси)-этил]этилгексанамида	0	175	Х, А
Fluorolube GR 362	Полихлортрифторэтилен	0	75	Х, А
Fluorolube HG 1200	»	0	200	Х, А
Fluorolube oil	»	—	75	Х, А
Fluorolube oil 2000	Полихлортрифторэтилен	—	175	Х, А
Fluorolube S-30	»	—	100	Х, А
Fomblin YR	Поли(перфторалкильный)-эфир	20	255	Х
Fractonitrile II	Этиленгликоль-бис(цианэтокси) эфир	—	140	А
Fractonitrile III	Трис(цианэтокси) пропан	—	—	—
Fractonitrile VI	Гексакис(цианэтокси) гексан	—	—	—
Hallcomid M-18	Диметилстеарамид	40	150	Х
Hallcomid M-18-OL	Диметилстеарамид	20	150	Х
Halocarbon 10-25	Полихлортрифторэтилен	»	100	Х, А

Продолжение табл. II 4

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °C	ВТП °C	Раствор- тель
Halocarbon 14-25	Полихлортрифторэтилен	20	150	X, A
Halocarbon 25-55	»	»	20	X
Halocarbon K-352	»	0	250	
Halocarbon wax	»	50	150	X
Harflex 370	Пропиленгликольсебац- нат (поли)	—	—	—
HI-EFF-1A	Диэтиленгликольадипнат	—	—	—
HI-EFF-1B	Диэтиленгликольсукцинат	—	—	—
HI-EFF-2A	Этиленгликольадипнат	—	—	—
HI-EFF-2B	Этиленгликольсукцинат	—	—	—
HI-EFF-2C	Этиленгликольсебацнат	—	—	—
HI-EFF-2E	Этиленгликольизофтала- т	—	—	—
HI-EFF-2G	Этиленгликольфтала- т	—	—	—
HI-EFF-3A	Неопентилгликольадипнат	—	—	—
HI-EFF-3B	Неопентилгликольсукцинат	—	—	—
HI-EFF-3C	Неопентилгликольсебацнат	—	—	—
HI-EFF-4B	Бутандиол-1,4-сукцинат	—	—	—
HI-EFF-8A	Циклогексан-1,4-диметанол адипнат	—	—	—
HI-EFF-8B	Циклогексан-1,4-диметанол- сукцинат	—	—	—
HI-EFF-9A	2,2,4,4-Тетраметилциклобу- тандиол-1,3-адипнат	—	—	—
HI-EFF-9B	2,2,4,4-Тетраметилциклобу- тандиол-1,3-себацнат	—	—	—
HI-EFF-10B	Фенилдиэтиламинсукци- нат	—	—	—
Hyprose SP-80	Октакис (оксипропил) саха- роза	—	—	—
Igepal CO-630	Монотетраметилбутилфени- ловый эфир полиэтиленгли- коля	—	—	—
Igepal CO-880	Нонилфеноксиполи (этилен- окси)этанол	100	200	X
Igepal CO-990	»	100	200	X
Kel-F oil No. 3	Полихлортрифторэтилен	0	50	A, X
Kel-F oil No. 10	»	20	100	A, X
Kel-F 90 grease	»	50	200	A, X
Kollidon K 15	Поливинилпирролидон, м м 10000	—	225	—
LAC-1-R-296	Диэтиленгликольадип- нат (поли)	—	—	—
LAC-2-446	Диэтиленгликольадипнат, сшитый пентаэритритом	—	—	—
LAC-3-R-728	Диэтиленгликольсукцинат	—	—	—
LAC-4-R-886	Этиленгликольсукцинат	—	—	—
LAC-5-R-737	Этиленгликольглутарат	—	—	—
LAC-6-R-860	Бутандиол-1,4-сукцинат	—	—	—
LAC-7-R-745	Этиленгликольизофтала- т	—	—	—
LAC-8-R-772	Этиленгликольтетрахлор- фтала-т	—	—	—
LAC-9-R-769	Неопентилгликольадипнат	—	—	—
LAC-10-R-744	Этиленгликольфтала- т	—	—	—
LAC-11-R-738	Диэтиленгликольглутарат	—	—	—
LAC-12-R-796	Циклогексан-1,4-диметанол- сукцинат	—	—	—

Продолжение табл. II 4

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ) природа	НТП °C	ВТП °C	Раствор- тель
LAC-13-R-741	Этиленгликольадипнат	—	—	—
LAC-14-R-743	Этиленгликольсукцинат	—	—	—
LAC-15-R-806	Диэтиленгликольсукцинат	—	—	—
LAC-16-R-897	Диэтиленгликоля дистеарат	—	—	—
LAC-17-R-770	Неопентилгликольсебацнат	—	—	—
LAC-18-R-767	Неопентилгликольсукцинат	—	—	—
LAC-19-R-922	Пропиленгликольфтала- т	—	—	—
LAC-20-R-923	Пропиленгликольмалеинат	—	—	—
Lexan	Поликарбонат дифенил- пропана	—	—	—
Lubrol MO	Высокомолекулярный поли- этиленгликоль	—	—	—
Lutensol	Нонилфеноксиполи (этилен- окси)этанол	—	—	—
Marlophen	М-изофениловый эфир гептагликоля	—	—	—
Mulgofen ON-870	Октадециловый эфир поли- этиленгликоля	—	175	X
Narcoil 40	Динонлфтала-т	—	—	—
Nonex 76	Полиэтиленгликоль-400 ди- стеарат	—	—	—
Octoil	Бис (этилгексил) фтала- т	—	—	—
Octoil S	Бис (этилгексил) себацнат	—	—	—
OS 124	Бис (феноксифеноксид) бензол	—	—	—
OS 138	Бис (феноксид) фениловый]- эфир	—	—	—
Pluronic F-68	10% полиэтиленгликоля м м 2000, привитого к по- липропиленгликолю	20	200	Mx
Pluronic L-61	40% полиэтиленгликоля, привитого к ППГ, м. м. 2900	»	220	Mx
Pluronic L-64	80% полиэтиленгликоля, привитого к ППГ, м м 8350	60	270	Mx
Pluronic	Полиэтиленгликоль, приви- тый к полипропиленгликолю в различных соотношениях, рекомендуется для капил- лярных колонок	—	—	—
	Очищены от катализаторов полимеризации, м м от 1000 до 14 000			
POLY-A 101A	Полиамид	50	275	X
POLY-A 103	»	70	275	X
POLY-A 135	»	70	250	X
POLY-I 110	»	95	275	X
POLY-S 179	Полисульфон	200	350	—
Polyglycol 15-200	Простой эфир поли (окси- этиленоксипропилена)	—	—	—
Polyox 100	Высокомолекулярный поли- этиленгликоль	—	—	—
Polyox WSR N-10	Полиэтиленгликоль 100 000	—	—	—
Polysev	Бис (феноксифеноксид) бен- зол	20	250	T
Polysulfon	Полисульфон	250	315	X
PPE-20	Полиметафениловый эфир, 20 колец	125	375	X

Продолжение табл. II.9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
PPE-21	То же, высокомолекуляр- ный	—	—	—
PPG-P 425	Полипропиленгликоль, м. м. 400—450	—	125	X
PPG-P 1025	Полипропиленгликоль, м. м. 975—1075	—	160	X
PPG-P 2025	То же, 1950—2100	—	180	X
Repex 678	Нонилфеноксиполи (этилен- окси)этанол	—	150	—
Reolube DOS	Диоктилсебацат	—	—	—
Reoplex 100	Пропиленгликольсебац- нат (поли)	—	—	—
Reoplex 400	Пропиленгликольадипи- нат (поли)	—	—	—
Resoflex R 296	Диэтиленгликольадипинат	—	—	—
SP-216-PS	Полиэфирная н. ф., стаби- лизированная фосфорной кислотой	25	200	A
SP-222-PS	То же	25	200	A
SP-300	<i>n</i> -Лаурил- <i>L</i> -валин- <i>трет</i> -бу- тиламид	60	140	X
SP-1000	Производное карбовакса 20 М и терефталевой кис- лоты	50	250	X
SP-1200	Малополярный эфир	25	200	X
SP-1220	То же	50	200	X
Span 60	Моностеарат сорбита	—	—	—
Span 80	Моноолеат сорбита	—	—	—
SPE-5	Нитрополифениловый эфир	50	220	X
SPE-19	Ацетилполифениловый эфир	50	200	X
SPE-11	Бромполифениловый эфир	50	240	X
SPE-15	Цианополифениловый эфир	80	280	X
STAP	Модифицированный поли- этиленгликоль-20000	100	225	X, A
Sulframin 85	Алкилбензолсульфонат	—	225	B
Superox	Полиэтиленгликоли, очи- щенные от катализатора, стабильны до 300 °С, м. м. от 0,6·10 <sup>3</sup> до 6·10 <sup>5</sup> , изби- рательность та же, что и для соответствующих поли- этиленгликолей	—	—	—
Superox-4	Полиэтиленгликоль, м. м. 4 000 000; рекомендуется для капиллярных колонок	—	275	Mx
Surfonic N-300	Нонилфеноксиполи (этилен- окси)этанол	100	150	A, T
Surfonic TD-300	Тридеканолполиэтилен- оксид	—	—	T
Tergitol NP-35	Нонилфеноксиполи (этилен- окси)этанол	50	175	X
Tergitol NPX 728	»	—	175	X
Thanol PPG 1000	Полипропиленгликоль, м. м. 1000	—	—	—
Tridox	Тридеканолполиэтилен- оксид	—	200	T

Продолжение табл. II.9

Неподвижная фаза	Плотность (в г/см <sup>3</sup> ), природа	НТП °С	ВТП °С	Раствори- тель
Trimer acid	Трехосновная кислота C <sub>54</sub>	20	150	X
Triton QS-15	Моно (тетраметилбутил)фе- ниловый эфир полиэтилен- гликоля	—	190	Эт
Triton X-100	То же, м. м. 650	20	200	Эт
Triton X-305	То же, м. м. 1500	»	220	A
Tween 61	Полиокснэтиленсорбитан- моностеарат	40	125	T, X, A
Tween 80	То же, высокомолекулярное	20	150	X
Ucon 50-NB-280X	Простые эфиры поли(окси- этиленоксипропилен)	»	200	X
Ucon-50-NB-660	То же	»	200	—
Ucon 50-NB-1800X	»	»	200	—
Ucon 50-NB-2000	»	»	200	—
Ucon 50-NB-3520	»	»	200	—
Ucon 50-NB-5100	»	»	200	—
Ucon 75-N-90000	Поли(оксиэтиленоксипро- пилен)гликоль	»	200	Эт
Ucon LB-135	То же	»	200	—
Ucon LB-550X	Простые эфиры полиокси- пропиленгликоля	»	200	X, Эт
Ucon LB-1200X	То же	»	200	—
Ucon LB-1715	»	»	200	—
Ucon LB-1800X	»	»	200	—
Versamid 900	Линейный полиамид	190	250	—
Versamid 930	То же	115	250	—
Versamid 940	»	115	200	—
Voltafex 90	Полихлортрифторэтилен	50	200	X, A
Voltafex 3S	То же	0	50	X, A
Zonyl E-7	Сложный эфир пиромел- литовой кислоты и тригид- рофторалкоголя	—	200	X, A
Zonyl E-61	Фторалкиловый эфир кам- форной кислоты	—	200	X

Примечание. В таблице указываются преимущественно наиболее распростра-  
ненные и безопасные растворители для неподвижных фаз. Для фирменных неподвижных  
фаз приводится только их состав, поскольку для соединений такого состава выше в  
таблице приведены все свойства.

Для полимерных неподвижных фаз, как правило, не указывается нижняя допустимая  
температура применения, поскольку она зависит от степени полимеризации непо-  
движной фазы. Для большинства полиэфиров указана ВТП 200 °С. В таблицу не вклю-  
чены описанные в литературе неподвижные фазы, для которых отсутствуют температур-  
ные пределы их использования и сведения об их селективности, определенные по одной  
из стандартных шкал (Роршайндера или Мак-Рейнольдса). Автор также избегал вклю-  
чать в таблицу технические продукты, состав которых четко не определен.

Таблица II.10. Показатели избирательности полярных неподвижных фаз

А Константы Мак-Рейнольдса

Неподвижная фаза	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сумма
Ацетилтрибутилцитрат	135	268	202	314	233	214	112	102	207	26	1842
Бис (4-феноксифенокс) бензол, 5 колец	176	227	224	306	283	117	169	135	226	103	—
Бис (4-феноксифенокс) бензол, 6 колец	182	233	228	313	293	181	176	136	273	112	—
N,N-Бис (2-пианэтил) формамид	690	991	853	1110	1000	773	557	371	964	279	1593
Бис (2-этоксизетилфталат)	214	375	305	446	364	290	190	159	312	79	1780
Бис (2-этоксизетоксизетилфталат)	233	408	317	470	389	309	207	170	337	92	1762
Бутилдолюсукцинат	370	571	448	657	611	457	324	242	533	178	1624
Бутилцитрат	97	194	157	246	174	149	96	69	147	27	1897
Бутилстеарат	41	109	65	112	71	85	37	29	61	—	1957
Бутоксенэтилстеарат	56	135	83	136	97	102	49	40	81	5	1948
Гексаацетат сорбита	335	553	449	652	543	446	273	247	521	131	1619
Дибутоксиэтиладипицат	137	278	198	300	235	216	118	104	205	28	1863
Ди (2-бутоксизетил) фталат	151	282	227	338	267	217	138	112	225	48	1843
Диглицерин	371	826	560	676	854	608	245	141	724	36	1806
Дидецилфталат	136	255	213	320	235	201	126	101	202	38	1868
Диндодециладипицат	84	173	137	218	155	133	83	59	150	24	1910
Диндодецилфталат	71	171	113	185	128	134	67	52	114	11	1924
Динзооктилдипицат	76	181	121	197	134	144	71	55	119	9	1915
Динзооктилфталат	94	193	154	243	174	149	92	69	147	24	1905
Дилаурилфталат	79	158	120	192	158	120	79	52	116	26	1910
Динонилсебацнат	66	166	107	178	118	130	62	50	106	8	1919
Динонилфталат	83	183	147	231	159	141	82	65	138	18	1907
Диоктилсебацнат	72	168	108	180	123	132	68	49	106	10	1933
Ди-n-октилфталат	92	186	150	236	167	143	92	66	140	23	1902
Дитридецилфталат	75	156	122	195	140	119	76	51	115	25	1910
Дициклогексилфталат	146	257	206	316	245	196	144	104	204	58	1871
Ди (2-этилгексил) себацнат	72	168	108	180	125	132	68	49	107	11	1918
Ди (2-этилгексил) тетрафлорфталат	109	132	113	171	168	104	75	45	137	34	1938
Ди (2-этилгексил) фталат	135	254	213	320	235	200	126	101	202	38	1868
Дидецилгексилгексадицинат	378	603	460	665	658	479	329	254	554	176	1623

Диэтилгексилгексадицинат	64	193	106	143	191	147	57	41	121	20	1913
Диэтилгексилгексадицинат	492	733	581	833	791	579	418	321	705	237	1558
Ди (2-этоксизетил) себацнат	151	306	211	320	274	238	129	110	224	36	1852
Карбовакс 4000 моностеарат	280	486	325	512	449	350	244	191	382	122	1716
Крезилдифенилфосфат	199	351	285	413	336	266	190	153	292	88	1808
Неопентилгексилгексадицинат	232	421	311	461	424	335	208	156	357	103	1722
Неопентилгексилсебацнат	172	327	225	344	326	257	156	109	257	73	1799
Неопентилгексилсукцинат	272	469	366	539	474	371	243	184	419	124	1663
Октаацетат сахарозы	344	570	461	671	569	457	292	251	546	152	1602
Октилдециладипицат	79	179	119	193	134	141	72	57	119	10	1921
Полнпропиленгексилгексадицинат-2000	128	234	173	264	226	196	106	98	194	45	1826
Полиэтилгексилгексадицинат 600	350	631	428	632	605	472	308	240	503	162	1652
Полиэтилгексилгексадицинат 4000	325	551	375	582	520	399	285	224	443	148	1674
Пролилгексилгексадицинат	196	345	251	381	328	271	176	129	285	83	1771
Пчелиный воск	43	110	61	88	122	86	41	24	73	18	1924
Тетраэтангексилгексадицинат	526	782	677	920	837	621	444	333	766	237	1544
Трибутилцитрат	135	286	213	324	262	226	119	102	229	29	1847
Трибутоксизетилфосфат	151	282	227	338	267	217	138	112	225	48	1843
Трикрезилфосфат	176	321	250	374	299	242	169	131	254	76	1832
Триметилпропантриглицеролат	84	182	122	197	143	143	77	55	127	18	1909
Три (2-этилгексил) фосфат	71	288	117	215	132	225	71	47	103	7	1909
Трис (2-пиангексил) пропан	593	857	752	1028	915	672	503	375	853	267	1509
Углеводородная смазка, галогенированная	55	71	116	143	123	70	16	57	110	4	1809
Цианэтиллированная сахароза	647	919	797	1043	976	713	544	388	917	299	1463
Циклотександиметанолсукцинат	269	446	328	493	481	351	248	176	394	124	1718
Этилгексилгексадицинат	372	576	453	655	617	462	325	250	546	177	1618
Этилгексилгексадицинат	326	508	425	607	561	400	299	213	498	168	1644
Этилгексилгексадицинат	368	474	399	548	549	373	279	220	469	167	1670
Этилгексилгексадицинат	453	697	602	816	872	560	419	306	699	260	1564
Этилгексилгексадицинат	391	597	493	693	661	469	335	261	591	190	1619
Этилгексилгексадицинат	108	282	186	235	289	220	106	74	209	48	1862
Alzet 200	347	609	418	626	589	449	306	240	493	161	1649
Carbowax 1000	371	639	453	666	641	479	325	255	534	172	1635
Carbowax 1540	322	540	369	577	512	390	282	222	437	147	1674
Carbowax 6000	322	536	368	572	540	387	282	221	434	148	1673
Carbowax 20M	108	265	175	229	246	202	105	73	156	49	1855
Castorwax											

Исподвижная фаза	Сумма										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Emulphor ON-870	202	395	251	395	344	282	179	140	289	80	178
Epon 1001	284	489	406	539	601	378	291	207	502	187	1683
Estynox	136	257	182	285	227	202	130	86	194	52	1853
Ethofat 60/25	191	382	244	380	333	277	168	131	279	73	1799
Flexol 8N8	96	254	164	260	179	197	98	64	147	23	1876
Flexol B-400	121	284	169	259	217	191	100	95	186	39	1836
Flexol GPE	93	210	140	224	162	166	90	65	146	20	1911
FFAP	340	580	397	602	627	423	298	228	473	161	1661
Fomblin YR	15	138	88	141	51	66	15	122*	—	—	—
Hallecomid-M-18	79	268	130	222	146	202	82	48	106	16	1932
Hallecomid M-18 OL	89	280	143	239	165	211	93	59	211	21	1925
HI EFF 8BP	271	444	330	498	463	346	252	175	396	127	1705
Hyprose SP-80	336	742	492	639	727	565	310	227	590	196	1587
Igepal CO-630	192	381	253	382	344	277	172	136	288	78	1800
Igepal CO-710	205	397	266	401	361	289	183	144	303	85	1785
Igepal CO-730	224	418	279	428	379	302	198	157	321	95	1766
Igepal CO 880	259	461	311	482	426	334	227	180	362	112	1743
Igepal CO 990	298	508	345	540	475	366	261	205	406	133	1699
KelF wax	55	67	114	143	116	73	16	57	109	4	1817
LAC IR-296	377	601	458	663	655	477	328	253	551	177	1623
LAC-2-R-446	387	616	471	679	667	489	339	257	567	186	1612
LAC-3-R-728	502	755	597	849	852	599	427	329	726	243	1545
Octoil S	72	167	107	179	123	132	68	49	106	11	1921
OS 124	176	227	224	306	283	177	169	135	266	103	1845
OS 138	182	233	228	313	293	181	176	136	273	112	1829
Polyglycol 15-200	207	410	262	401	354	289	179	150	301	86	1757
Replex 678	223	417	278	427	381	301	198	156	321	95	1766
Reoplex 400	364	619	449	647	671	482	317	245	540	171	1633
Resoflex R 296	380	609	463	668	667	483	331	255	557	179	1622
SP-216-PS	632	875	733	1000	680	—	—	—	—	—	—
SP-222-PS	632	875	733	1000	680	—	—	—	—	—	—
SP-1000	322	555	393	583	546	—	—	—	—	—	—

SP-1200	67	170	103	203	166	—	—	—	—	—	—
SP-1220	207	297	153	283	328	201	82	55	180	37	1874
Span 60	88	263	158	200	258	207	94	66	191	41	1870
Span 80	97	266	170	216	268	207	94	66	191	41	1870
SPE-5	236	344	356	398	194	259	255	182	409	210	—
SPE-9	244	390	312	449	394	299	253	164	365	—	—
SPE-11	262	348	362	461	413	261	249	172	392	165	—
SPE-15	296	432	430	588	500	—	—	—	—	—	—
Surfonic N 300	261	462	313	484	427	334	228	180	364	114	1730
Tergitol NPX	197	386	258	389	351	281	176	39	293	81	1795
Thanol PPG 1000	131	314	185	277	243	214	110	101	205	46	1822
THEED	463	942	626	801	893	746	427	269	721	254	1550
Trimer acid	94	271	163	182	378	234	94	57	216	60	1855
Triton X-100	203	399	268	402	362	290	181	145	304	83	1787
Triton X-200	117	289	172	266	237	180	105	81	192	48	1857
Triton X-305	262	467	314	488	430	336	229	183	366	113	1739
Triton X-400	168	334	97	176	131	218	—	36	95	23	1910
Ucon 75-H-90000	255	452	299	470	406	321	220	180	348	110	1725
Ucon 50-HB-280X	177	362	227	351	302	252	151	130	256	65	1794
Ucon 50-HB-660	193	380	241	376	321	265	166	141	274	75	1780
Ucon 50-HB-1800X	123	275	161	249	212	179	101	95	181	45	1826
Ucon 50-HB-2000	202	394	253	392	341	277	173	147	289	80	1771
Ucon 50-HB-3520	198	381	241	379	323	264	169	144	278	80	1771
Ucon 50-HB-5100	214	418	278	421	375	301	185	155	316	86	1754
Ucon LB-550-X	118	271	158	243	206	177	96	91	177	40	1838
Versamid 930	132	297	180	275	235	202	109	100	199	46	1821
Versamid 940	108	309	137	208	207	222	110	57	148	77	1812
Zonyl E-7	109	314	145	212	209	225	112	57	150	78	1816
Zonyl E-9	223	359	468	549	465	338	146	137	469	62	1615
Zonyl E-91	130	250	320	377	293	235	81	95	295	10	1707

\* Данная неподвижная фаза обладает исключительно малой емкостью по сорбатам (все величины приведены для 45°C). Например, коэффициент емкости колонок, заполненных одинаковым количеством пароводяной фазы, для перфторированной жидкости и сквалана равны соответственно: бензол — 0,8 и 20,7, бутанол-1 — 1,3 и 12,2, пентанол-2 — 1,2 и 18,9.

Сорбаты — см. табл. II.2.

(все величины приведены для 45°C). Например, коэффициент емкости колонок, заполненных одинаковым количеством пароводяной фазы, для перфторированной жидкости и сквалана равны

Б. Стандартные неподвижные фазы и близкие к ним по параметрам избирательности наиболее широко применяемые в практике газожидкостной хроматографии неподвижные фазы (стандартная неподвижная фаза подчеркнута, за ней следуют близкие по избирательности соединения)

#### Аполан

Гексатриаконтан  
Жидкий парафин  
Минеральное масло  
Сквалан  
Copvoil 20  
Nujol  
Силиконы OV-1 и OV-101  
Апиезоны различных марок (кроме Н и W)  
Полиизобутилены  
Силиконовые неподвижные фазы марок: DC-11, DC-200, DC-330, DC-410, DC Silastic-401, DC-510, E-301, SE-30, SE-31, SE-33, UCL 46, W 982

#### Силикон OV-3

Бутилстеарат  
Пчелиный воск  
Силиконовые неподвижные фазы марок:  
Fluorolube HG 1200  
Kel F wax

#### Силикон OV-7

Апиезоны Н и W  
Диизодециладипинат  
Диизооктиладипинат  
Дионоилсебагинат  
Диоктилсебагинат  
Дитридецилфталат  
Ди(этилгексил)себагинат  
Ди(этилгексил)стеарат  
Ди(этилгексил)тетрахлорфталат  
Октилдециладипинат  
Углеводородная смазка  
Силиконовые неподвижные фазы марок: DC-550, DC-702, DC-703  
DINA  
Octoil S

#### Силикон OV-17

Бутилоктилфталат  
Диизодецилфталат  
Диизооктиладипинат  
Диизооктилфталат  
Диизопропилтрипеларгонат  
Дионоилфталат  
Диоктилфталат  
Ди(этилгексил)фталат  
Силиконы марок: DC-710, OV-11  
Тритон X-400  
Три(этилгексил)фосфат  
Flexol 8N8  
Flexol GPE  
Hallcomid M-18  
Hallcomid M-18 OL  
Hercoflex 600  
Span 60

#### Силикон OV-22

Ацетилтрибутилцитрат  
Ди(бутоксизтил)адипинат  
Ди(бутоксизтил)фталат  
Дидецилфталат  
Дициклогексилфталат  
Ди(этилгексил)фталат  
Ди(этоксизтил)себагинат  
Касторовое масло  
Неопентилгликольсебагинат  
Полипропиленгликоль-2000  
Силиконовые неподвижные фазы марок: OV-25, SR-119  
Сквалан  
Стеарат цинка  
Трибутилцитрат  
Тримерная кислота  
Тритон X-200  
Alpet 200  
Elastex 50-B  
Estynox  
Flexol B-400  
OS 124  
OS 138

Span 80  
Pluracol P-2010  
Pluronic L81  
Thanol-полипропиленгликоль-1000  
Ucon 50-HB-1800-X  
Ucon LB-550-X  
Ucon LB-1715  
Versamid 930  
Versamid 940

#### Силикон OV-210

Силикон QF-1  
Трикрезилфосфат  
LSX-3-0295  
SAIB  
Zonyl E-91  
**Силикон OV-225**  
Бис(этоксизтил)фталат  
Ди(этоксизтил)фталат  
Крезилдифенил P04  
Неопентилгликольадипинат  
Полигликоль 15-200  
Полипропиленгликольсебагинат  
Силикон XE-60  
Тритон X-100  
Тритон X-305  
Emulphor ON-870  
Ethofat 60-25  
Ethomeen 18/25  
Ethomeen S 125  
Igepal CO-710  
Igepal CO-730  
Igepal CO-880

#### HI EFF 8BP

Igepal CO-630  
Oronite NIW  
Paraplex G-25  
Pluronic L35  
Pluronic F68  
Pluronic F88  
Pluronic P65  
Pluronic P85  
Polytergent B-350  
Polytergent G-300  
Polytergent J-300  
Polytergent J-400  
Renex 678  
Siponate DS-10  
Stepan DS-60  
Surfonic N 300  
Tergitol NPX  
Ucon 50-HB-280X  
Ucon 50-HB-660  
Ucon 50-HB-3520  
Ucon 50-HB-5100  
Ucon 75-H-90000  
Zonyl E-7  
**Карбовакс 20M**  
Гексаацетат сорбита  
Карбовакс 4000  
Карбовакс 6000  
Неопентилгликольсукцинат  
Силикон XF-1150  
Этиленгликольизофталат  
Carbowax 20M TPA  
CHDMS  
CW 4000 моностеарат  
EGSP-Z

Eron 1001  
Igepal CO 990  
MER-21  
Paraplex G-40  
Quadrol  
**Полиэтиленгликоль-1000**  
Бутандиолсукцинат  
Диглицерин  
Диэтиленгликольадипинат  
Диэтиленгликольсукцинат  
Октаацетат сахарозы  
Полиэтиленгликоль-600  
Полиэтиленгликоль-1540  
Реоплекс 400

Этиленгликольадипинат  
Этиленгликольфталат  
ECNSS-M  
EGSS-X  
EGSS-Y  
FFAP  
Huprose SP-80  
LAC-2-R-446  
LAC-3-R-728  
LAC IR-296  
MER 2  
PDEAS  
Resoflex R 296  
STAP  
THEED  
**1,2,3-трис(2-цианэтокси)пропан**  
Цианэтилсахароза  
ВСЕФ

Стандартные неподвижные фазы в данной части таблицы расположены в порядке возрастания их полярности.

В. Взаимозаменяемость неподвижных фаз. 30 групп неподвижных фаз, внутри каждой группы возможна замена соединений (группы расположены в соответствии с возрастанием полярности неподвижной фазы от 1 до 30 группы).

#### 1. Апиезоны J, L, M, N

Гексатриаконтан  
Жидкий парафин  
Минеральное масло  
Полибутен-32  
Полибутен-128  
Сквалан  
Copvoil 20  
Montan wax  
Nujol

Пчелиный воск  
Fluorolube HG-1200  
Kel F wax

#### 3. Стеарат цинка

#### 2. Апиезон Н

Бутилстеарат  
Бутоксизтилстеарат  
Галокарбоновая смазка  
Силиконовые неподвижные фазы марок: DC-11, DC-200, DC-330, DC-401, DC-410, DC-510, DC-556, DC-560, E-301, L-46, OV-1, OV-3, OV-101, SE-30, SE-31, SE-33, SV-96, Versilub F-50, W-982

#### 4. Апиезон S

Бис(2-этилгексил)тетрахлорфталат  
Бутилоктилфталат  
Диизодециладипинат  
Диизодецилфталат  
Диизооктилфталат  
Дилаурилфталат  
Дионоилсебагинат  
Дионоилфталат  
Диоктилсебагинат  
Диоктилфталат  
Дитридецилфталат  
Ди(2-этилгексил)адипинат  
Ди(2-этилгексил)себагинат

- Ди(2-этилгексил)фталат  
Диэтиленгликольстеарат  
Октилдециладипинат  
Силиконовые неподвижные фазы  
марок: DC-550, DC-702, DC-703,  
OV-7  
Триметилпропантрипеларгонат  
DINA  
Flexol GPE  
Octoil S
5. Три(2-этилгексил)фосфат  
Hallcomid M-18  
Hallcomid M-18-OL
6. Дидецилфталат  
Дициклогексилфталат  
Ди(2-этилгексил)фталат  
Касторовое масло  
Estynox  
Flexol 8N8  
Flexol B-400  
Hercoflex 600  
Pluracol P-2010  
Pluronic L 81  
PPG 2000  
Span 60  
Span 80  
THANOL PPG 1000  
Triton X-200  
Ucon-60-HB 1800X  
Ucon LB-550-X  
Ucon LB 1715  
Versamid 930  
Versamid 940
7. Тримерная кислота
8. Силиконовые неподвижные фазы  
марок: DC-710, OV-11, OV-17,  
SP-392
9. То же марок: OV-22, OV-25,  
SR-119  
Полифениловые эфиры марок:  
OS-124, OS-138
10. Ацетилтрибутилцитрат  
Бис(2-бутоксизтил)себацнат  
Бис(2-бутоксизтил)фталат  
Ди(бутоксизтил)адипинат  
Ди(бутоксизтил)фталат  
Три(бутоксизтил)фосфат  
Citroflex 4
11. Ацетатгексаизобутират сахарозы  
Неопентилгликольсебацнат  
Полипропиленгликольсебацнат  
Сквален  
Трикрезилфосфат  
Emulphor ON-870
- Ethofat 60/25  
Ethomeen 18/25  
Ethomeen S/25  
Igepal CO-630  
Oronite NIW  
Paraplex G-25  
Pluronic P 65  
Pluronic P 85  
Polytergent J-300  
Polytergent B-350  
Polytergent J-400  
Tergitol NPX  
Ucon-50-HB-280X  
Ucon-50-HB-660  
Ucon-50-HB-2000  
Ucon-50-HB-3520
12. Zonyl E-91
13. Силиконовые неподвижные фазы  
марок: DC ISX-3-0295, OV-210,  
QF-1
14. Бис(2-этоксизтил)фталат  
Ди(этоксизтоксизтил)фталат  
Крезилфенилфосфат  
Неопентилгликольадипинат  
Полигликоль 15-200  
Силиконовые неподвижные фазы  
марок: OV-225, XE-60  
Alkaterge C  
Igepal CO-710  
Igepal CO 880  
Pluronic F 68  
Pluronic F 88  
Pluronic L 35  
Polytergent G-300  
Renex 678  
Surfonic N 300  
Triton X-100  
Triton X-305  
Ucon-50-HB-5100  
Ucon-75-H-90000
15. Неопентилгликольсукцинат  
Циклогександиметанолсукцинат  
Carbowax 4000 monostearate  
H1-EFF-8BP  
Igepal CO 990  
Paraplex G-40
16. Quadrol
17. Zonyl E-7
18. Siponate DS-10  
Stepan DS-60
19. Полиэтиленгликоль-4000  
Этиленгликольизофталат  
Carbowax 6000

- Carbowax 20M  
EGSP-Z  
Epon 1001  
MER-21
20. Силиконовая неподвижная фаза  
XF-1150
21. Гексаацетат сорбита  
Октаацетат сахарозы  
Полиэтиленгликоль-6000  
Carbowax 1000  
FFAP  
STAP
22. Бутандиолсукцинат  
Диэтиленгликольадипинат  
Фенилэтаноламинсукцинат  
Этиленгликольадипинат  
Carbowax 1540  
EGSS-Y  
LAC-1-R-296  
LAC-2-R-446
- MER-2  
Reoplex 400  
Resoflex R-296
23. Hyprose SP-80
24. Диглицерин
25. Диэтиленгликольсукцинат
26. EGSS-X  
LAC-3-R-728
27. Тетрацианэтилированный пента-эритрит  
Этиленгликольсукцинат
28. THEED
29. 1,2,3-трис(2-цианэтокс)пропан
30. N,N-бис(2-цианэтил)формамид  
Цианэтилированная сахароза

(Massart D. L., Lenders P. — J. Chromatogr. Sci., 1974, v. 12, N 11, p. 617—625).

Примечание. Приведенная в таблице классификация неподвижных фаз основана на выборе групп соединений, для которых величины критериев избирательности по Мак-Рейнольдсу наиболее близки. Группы соединений отбирался методом численной таксономии, примерно те же результаты получены при использовании других эмпирических методов классификации неподвижных фаз. В принципе, можно заменить один из членов группы другим, что может быть использовано для применения отечественных неподвижных фаз вместо импортных. Однако необходимо учитывать, что даже совпадающие по критериям избирательности Мак-Рейнольда неподвижные фазы могут обладать различной избирательностью для определенных случаев. Особую осторожность следует соблюдать при замене полимерных неподвижных фаз. Так, по данным цитируемой работы образцы диэтиленгликольсукцината, производимые различными фирмами, относятся даже к разным группам неподвижных фаз по избирательности.

Таблица II.11. Перечень полярных неподвижных фаз, имеющих в «Союзреактиве»

Наименование	Наименование
Ацетилтрибутилцитрат (Citroflex A-4)	Бис(2-метоксизтил)себацнат
Бензилдифенил	Бис(2-метоксизтил)фталат
Бис(2-метоксизтил)адипинат	Бис(2-этоксизтил)адипинат
Бис(2-метоксизтил)глутарат	

Наименование	Наименование
Бис[2-(2-этоксипропионил)адипинат 1,4-Бутиленгликольдибутират	Нитрилотрипропионитрил
1,2,3,4,5,6-Гексакис(2-цианэтокси)- гексан (Cyclo-N, Fractonitrile VI)	$\beta, \beta'$ -Оксидипропионитрил
Глицеринтриацетат	Пентаэритриттетрабензоат
Глицеринтрисеарат	Пентаэритриттетрабутират
Дибутилсебаццинат	Пентаэритриттетравалерат
Дибутилтетрахлорфталат	Пентаэритриттетракапринат
Дидецилфталат (Flexol 10-10)	Пентаэритриттетрастеарат
Дидодецилфталат	Поли-1,4-бутандиоладипинат
Динизооктилсебаццинат	Поли-1,4-бутандиолглутарат
Динонилфталат (Narcoil 40)	Поли-1,4-бутандиолсебаццинат
Диоктилсебаццинат (Octoil S)	Поли-1,4-бутандиолсукцинат (HI-EFF-4B)
Диоктилфталат (Flexol 380, Reolu- be DOS)	Полидекандиолсебаццинат Полидиэтиленгликольадипинат (HI-EFF-1A, LAS-1-R-296, Resoflex R 296)
Дифенилфталат	Полидиэтиленгликольглутарат (LAC-11-R-738)
1,4-Ди( $\beta$ -цианэтокси)бутан	Полидиэтиленгликольизофталат
Ди( $\beta$ -цианэтокси)гидрохинон	Полидиэтиленгликольсебаццинат
Ди( $\beta$ -цианэтокси)диэтиловый эфир	Полидиэтиленгликольсукцинат (HI-EFF-1B, LAC-3-R-728, LAC-15-R-806)
Ди( $\beta$ -цианэтил)пирокатехин	Полидиэтиленгликольтерефталат
1,2-Ди( $\beta$ -цианэтокси)пропан	Полидиэтиленгликольфталат
Ди( $\beta$ -цианэтокси)резорцин	Полипропиленгликольглутарат (Reoplex 400)
Ди( $\beta$ -цианэтиловый эфир)триэтилен- гликоля	Полипропиленгликольсебаццинат (Harflex 370, Reoplex 100)
1,2-Ди( $\beta$ -цианэтокси)этан	Полипропиленгликольфталат (LAC-19-R-922)
Диэтиленгликольдибутират	
$\beta, \beta'$ -Иминодипропионитрил	
3 [2(2-Метоксиметокси)этокси]про- пионитрил	
3 Морфолинпропионитрил	

Наименование	Наименование
Политриэтиленгликольадипинат	Полиэтиленгликольфталат (HI-EFF-2E, HI-EFF-2G, LAC-7-R 745, LAC-10-R-744)
Политриэтиленгликольсебаццинат	1,2-Пропиленгликольдибутират
Политриэтиленгликольсукцинат	Триацетин
Политриэтиленгликольфталат	Трибутилфосфат
Полифениловый эфир 5Ф4Э (OS 124, OS 138)	Тристеарин
Полифениловый эфир 6Ф4Э	Трис( $\beta$ -цианэтиловый эфир) триэ- ноламина
Полиэтиленгликольадипинат (HI-EFF-2A, LAC-13-R-741)	1,1,1-Трис( $\beta$ -цианэтил)ацетофенон
Полиэтиленгликольглутарат (LAC-5-R-737)	1,2,3-Трис( $\beta$ -цианэтокси)пропан (Fractonitrile III)
Полиэтиленгликольизофталат	Триэтиленгликольдибутират
Полиэтиленгликольсебаццинат (HI-EFF-2C)	$\beta$ -Этоксис( $\beta$ -цианэтокси)-диэтиловый эфир
Полиэтиленгликольсукцинат (HI-EFF-2B, LAC-4-R-745, LAC-14-R-743)	

В табл. II.12 даны характеристики удерживания органических соединений на полярных неподвижных фазах.

В табл. II.13 приведены основные свойства ряда специфических неподвижных фаз: аминов, растворов нитрата серебра, жидких кристаллов, оптически активных соединений и др. Амины применяют в основном для анализа щелочных соединений, растворы нитрата серебра — для селективного разделения соединений с кратной связью, жидкие кристаллы — для геометрических изомеров. Эти неподвижные фазы ограниченно применяются в аналитической ГЖХ. Все эти специфические неподвижные фазы могут существенно изменять свои разделительные свойства под влиянием следов соединений, находящихся в пробах анализируемых веществ. Так, при анализе полициклических ароматических углеводородов колонки с жидкокристаллическими неподвижными фазами со временем теряют свою селективность. Как правило, специфические неподвижные фазы целесообразно использовать лишь при разделении веществ, обладающих близкими физико-химическими свойствами, например геометрических изомеров углеводородов.

Таблица П.12. Характеристики удерживания органических соединений на полярных неподвижных фазах

А Удельные объемы удерживания органических соединений на неподвижных фазах с эфирными функциональными группами

Сорбент	Бис(2-этоксипропилен)фталат		Дибензилтетраэтилфталат		Динордидецилфталат		Диоктилфталат		Полифениловый эфир			
	120 °С		120 °С		120 °С		140 °С		5 месяцев		6 месяцев	
	100 °С	120 °С	100 °С	120 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	160 °С
Формальдегид	4,5	3,0	3,3	8,0	1,9	1,3	2,2	1,3	1,6	0,9	1,5	0,8
Уксусный альдегид	9,7	6,8	5,4	4,1	4,0	3,1	4,1	3,1	3,0	3,0	1,8	1,6
Пропионовый альдегид	20,2	12,8	13,0	8,6	9,7	6,4	10,0	6,5	7,6	3,5	7,3	3,3
Масляный альдегид	40,0	23,9	28,7	17,9	19,8	12,5	20,2	12,9	15,5	6,4	14,9	6,3
Изомасляный альдегид	28,8	17,5	21,6	13,5	15,3	10,1	15,5	10,2	12,0	5,4	11,2	5,2
Валериановый альдегид	84,5	46,6	67,2	38,2	41,7	24,7	42,6	25,0	32,5	12,5	31,0	12,0
Изовалериановый альдегид	59,4	34,1	48,2	28,3	31,2	19,3	31,9	19,7	23,3	9,4	22,3	9,0
2-Метилмасляный альдегид	59,5	34,2	49,5	29,3	32,2	19,9	32,7	20,1	24,2	9,6	23,3	9,3
2,2-Диметилпропиональ	31,3	19,1	27,1	16,9	18,9	12,2	19,0	12,3	12,9	5,5	12,4	5,5
n-Гексаналь	167	88,9	147	79,3	86,5	48,2	88,8	49,0	63,4	22,0	59,8	21,2
n-Гептаналь	323	162	318	157	164	88,3	170	89,4	118	38,2	110	36,2
2-Этилгексаналь	396	199	434	213	227	118	230	122	151	46,4	140	43,4
Акролеин	25,3	15,7	15,0	9,7	10,4	7,0	10,7	7,2	8,5	3,9	7,9	3,7
Метилпропион	37,4	22,4	27,7	16,9	17,6	11,4	18,2	11,7	14,5	6,3	13,7	6,1
Кротоновый альдегид	103	56,2	61,3	36,0	38,5	23,0	40,2	24,3	33,9	12,7	32,7	12,3
2-Этилгексен-2-аль	247	125	233	104	180	60,0	112	62,9	87,2	30,0	82,7	28,6
2-Этилгексен-2-аль	685	336	690	330	337	171	345	177	251	71,0	229	67,1
Гексадиен-2,4-аль	—	396	—	303	271	140	284	150	245	71,7	233	68,4
Ацетон	24,2	15,1	14,3	9,2	10,1	6,8	10,4	6,8	8,5	3,8	7,8	3,5
Метилпропион	46,7	27,1	31,9	18,9	21,0	12,9	21,5	13,5	17,4	6,8	16,4	6,4
Метилпропионкетон	82,9	45,8	62,9	35,4	39,0	23,2	40,1	23,9	31,0	11,7	28,8	11,0
Пентадиен-3	83,1	46,6	64,2	36,2	40,3	23,9	41,0	24,4	32,3	12,3	30,8	11,4
3-Метилбутанон-2	66,3	36,5	50,1	29,1	31,4	19,1	32,3	19,5	24,4	9,5	23,1	9,2
Гексанон-2	166	89,4	141	75,1	79,5	44,6	81,4	45,8	60,4	20,3	57,1	19,1
Гексанон-3	145	78,1	126	67,1	72,7	41,5	74,2	42,5	57,2	19,4	53,6	18,2
3-Метилпентанон-2	120	64,8	105	56,8	60,7	35,3	61,6	35,6	45,3	17,0	43,1	16,1
4-Метилпентанон-2	112	60,8	94,9	52,0	56,3	32,6	56,5	33,1	40,8	14,8	37,2	14,1

3,3-Диметилбутанон-2	81,1	46,2	72,6	41,4	43,9	26,0	44,0	26,8	31,8	12,2	29,7	11,8
Гептанон-2	329	163	304	151	159	85,5	160	86,5	116	36,8	107	32,4
Гептанон-3	285	145	271	136	148	78,1	150	80,3	106	33,9	98,5	31,9
Гептанон-4	250	128	237	119	133	70,4	135	71,4	95,1	30,5	88,1	29,6
4,4-Диметилпентанон-2	131	70,7	128	68,6	73,4	41,9	74,2	42,4	49,5	17,5	46,7	16,3
2,4-Диметилпентанон-3	128	67,3	126	66,6	71,4	41,1	71,8	41,5	49,1	17,8	46,1	16,3
Октанон-2	645	308	631	304	316	156	321	159	223	61,7	201	58,9
Нонанон-2	—	567	—	594	594	281	616	287	408	111	364	97,8
Нонанон-5	—	434	—	474	513	240	521	243	336	92,6	302	83,9
Циклопентанон	256	136	173	92,6	96,8	55,0	101	56,6	102	34,2	96,3	33,2
Циклогексанон	530	265	398	198	201	108	210	113	207	69,7	196	62,5
Бутен-2-он-2	53,5	31,2	35,2	20,8	21,4	13,6	22,4	14,2	17,6	7,6	17,7	7,3
Гексен-5-он-2	192	103	150	78,5	78,9	44,3	81,9	45,9	64,8	22,1	60,8	21,4
3-Метилбутен-3-он-2	82,1	—	64,6	—	36,9	22,3	38,2	22,9	30,4	11,7	28,7	11,3
4-Метилпентен-3-он-2	208	110	172	89,5	88,6	50,2	91,9	51,5	77,6	25,9	71,1	25,0
Бутандион-2,3	55,8	31,0	37,0	21,1	21,4	13,3	21,8	13,4	18,4	7,3	17,5	7,1
Пентадион-2,3	100	54,6	75,5	41,3	43,2	25,0	44,1	25,6	35,6	12,7	33,2	12,0
Пентадион-2,4	279	149	196	102	100	56,7	105	61,1	82,2	29,7	76,7	28,7
Метанол	6,7	9,9	6,1	4,1	5,0	3,3	5,1	3,3	3,3	1,6	3,1	1,6
Этанол	24,7	14,9	10,3	6,6	8,0	5,1	8,6	5,3	5,4	2,3	4,9	2,2
n-Пропанол	51,1	28,6	25,4	15,0	18,4	10,9	18,7	11,3	12,2	4,8	11,5	4,5
Изопропанол	28,8	16,4	14,7	9,0	11,1	6,9	11,3	7,1	6,9	3,0	6,5	2,8
n-Бутанол	110	56,9	60,4	32,9	39,7	22,4	40,9	23,0	25,3	9,3	23,8	8,9
Изобутанол	80,4	41,8	43,1	24,3	30,2	17,8	31,0	18,0	18,3	7,1	17,2	6,8
Бутанол-2	57,6	31,9	34,6	20,0	24,2	14,2	24,8	14,6	15,6	5,9	14,7	5,7
Бутанол-3	28,4	17,1	17,0	11,1	13,1	8,3	13,5	8,4	7,8	3,3	7,5	3,1
Циклопропилметанол	167	83,8	79,0	42,4	50,1	28,2	52,0	29,1	39,1	14,1	37,2	13,5
n-Пентанол	229	110	137	70,4	81,9	44,1	85,0	45,2	51,6	17,0	47,4	16,5
Пентадион-2	113	59,6	76,5	40,7	46,1	27,3	49,2	27,8	29,8	10,8	27,5	10,4
Пентадион-3	107	56,4	73,7	40,3	47,9	17,1	48,6	27,7	30,2	11,0	28,2	10,8
2-Метилбутанол-1	176	87,6	103	57,6	67,4	36,6	61,3	37,8	40,5	14,1	37,8	13,6
2-Метилпентанол-1	64,3	35,6	46,1	26,7	30,7	18,2	31,2	18,5	19,1	7,6	18,0	7,0
3-Метилбутанол-1	176	88,0	108	56,8	66,6	36,5	68,4	37,4	39,9	14,1	37,0	13,6
3-Метилпентанол-2	96,6	51,1	65,9	36,7	42,1	24,2	43,0	24,7	25,7	9,8	24,3	9,6
2,2-Диметилпропанол-1	97,0	51,5	59,4	33,4	40,5	23,2	40,9	24,0	22,7	8,6	20,9	8,7
Гексанол-1	97,0	51,5	59,4	33,4	40,5	23,2	40,9	24,0	22,7	8,6	20,9	8,7
Гексанол-2	457	208	297	143	167	83,8	171	86,5	99,8	30,1	92,7	29,3

Сорбат	Бис(2-этоксипентил)фталат		Дибис(детирил)алорфталат		Дивис(детирил)фталат		Диоксидфталат		Полифталатные эфиры			
	100 °С		120 °С		120 °С		110 °С		5 колот		6 колот	
	100 °С	120 °С	100 °С	120 °С	120 °С	110 °С	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 %	160 °С
Гексанол-3	229	109	165	81,5	95,5	51,1	97,8	51,7	57,2	18,9	53,2	18,3
2-Метилпентанол-1	332	160	223	113	130	67,0	132	69,5	78,5	23,6	72,5	22,9
3-Метилпентанол-1	363	183	256	127	143	74,6	146	76,3	87,3	27,2	80,9	26,1
4-Метилпентанол-1	380	171	233	117	133	69,0	136	71,4	82,7	24,5	74,4	23,8
2-Метилпентанол-2	120	59,7	95,1	48,9	58,6	52,7	58,6	33,2	35,0	12,5	32,6	12,0
3-Метилпентанол-2	205	99,2	155	77,1	90,2	49,8	91,8	50,3	54,6	18,2	50,9	17,2
4-Метилпентанол-2	166	81,0	123	61,9	72,3	39,7	72,8	40,8	42,0	14,5	38,6	14,1
2-Метилпентанол-3	164	82,0	129	66,4	77,0	42,0	78,2	42,8	45,9	16,0	43,0	15,4
3-Метилпентанол-3	138	70,1	113	59,5	66,6	36,4	67,0	37,6	41,0	14,7	38,2	14,2
3-Метилпентанол-3	349	163	237	116	135	70,0	138	72,0	79,1	25,6	73,9	25,0
2-Этилбутанол-1	238	114	165	83,1	98,4	52,3	99,9	54,0	55,0	19,1	51,0	18,6
2,2-Диметилбутанол-1	115	59,4	97,1	51,4	57,8	32,5	58,8	33,1	34,4	12,9	32,3	12,3
2,3-Диметилбутанол-2	131	66,5	101	53,4	62,2	35,4	62,9	35,8	35,3	13,1	32,9	12,7
3,3-Диметилбутанол-2	—	389	—	287	326	254	337	161	191	52,0	175	49,8
Гептанол-1	—	204	—	165	189	92,7	194	97,9	109	32,7	100	31,5
Гептанол-2	—	187	—	158	179	91,8	181	93,2	104	31,9	96,2	30,7
Гептанол-3	—	175	—	150	176	88,5	177	89,9	100	31,5	92,3	30,4
Гептанол-4	—	199	—	152	179	90,8	181	93,9	96,8	30,5	89,0	29,2
2,2-Диметилпентанол-1	—	109	—	100	113	61,9	114	62,1	66,2	21,7	61,3	21,3
2,4-Диметилпентанол-3	—	127	—	126	139	73,1	138	73,4	87,4	26,9	80,3	26,0
Этилпентанол-3	—	697	—	560	634	284	656	293	361	91,1	326	85,0
Октанол-1	—	369	—	324	367	173	374	177	218	56,5	190	53,5
Октанол-2	—	493	—	400	458	218	470	223	267	66,9	241	64,4
2-Этилгексанол-1	—	371	—	301	348	166	354	172	181	52,0	166	49,9
2-Этил-4-метилпентанол-1	—	—	—	—	—	516	—	531	679	154	609	144
Нонанол-1	—	145	—	84,4	98,5	54,0	101	55,2	79,7	25,4	75,6	24,0
Циклопентанол	293	168	373	180	201	104	207	107	154	48,1	146	47,8
Циклогексанол	576	262	—	—	281	143	287	146	199	60,9	190	66,7
2-Метилциклогексанол	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Пропен-2-ол-1	64,8	36,2	28,6	16,8	19,5	11,6	20,4	12,1	13,7	5,3	12,7	5,1

Бутен-2-ол-1	154	75,7	73,7	39,2	44,4	25,4	46,6	26,1	33,0	11,9	30,8	11,5
Бутен-3-ол-1	115	60,2	58,7	31,9	36,7	20,9	38,7	21,9	25,0	9,4	24,0	9,3
Бутен-3-ол-2	65,9	36,2	34,6	19,8	22,4	137	23,4	14,2	15,4	6,0	14,3	5,8
2-Метилпропен-2-ол-1	133	67,1	65,7	34,8	38,7	22,1	39,9	23,0	25,7	9,5	24,6	9,5
Пентен-3-ол-1	250	120	137	70,4	79,3	42,6	82,9	44,6	56,8	19,2	52,9	18,9
Пентен-1-ол-3	127	63,6	75,3	39,8	45,3	25,7	46,9	26,7	30,3	10,8	28,0	10,5
Пентен-1-ол-4	116	59,9	71,4	38,0	43,4	25,8	44,9	26,9	29,2	10,8	27,6	10,4
2-Метилбутен-3-ол-2	64,4	35,9	41,1	23,8	25,8	15,6	26,4	16,2	17,2	6,6	16,0	6,4
Пропил-2-ол-1	169	82,1	46,9	25,7	28,6	15,9	31,2	17,5	19,3	7,1	18,7	6,9
2-Метилбутин-3-ол-2	118	56,7	46,1	25,0	27,5	16,0	28,8	17,0	18,3	6,7	17,0	6,5
3-Метилпентин-1-ол-3	—	598	—	410	471	219	489	226	37,4	13,3	34,8	13,1
2-Этилгексен-2-ол-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77,3	—	75,7
Этилглицколь	—	—	—	—	—	60,6	—	—	—	26,7	—	26,6
Пропандиол-1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28,9	—	28,4
Пропандиол-1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55,4	—	54,0
Бутандиол-1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59,0	—	48,7
Бутандиол-1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	63,5	—	59,6
Бутандиол-1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	111	—	107
Бутандиол-2,3-DL	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30,7	—	30,7
Бутандиол-2,3-мезо	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36,4	—	33,9
2-Метилпентандиол-1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29,3	—	28,9
Пентандиол-1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	195	—	186
Пентандиол-2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	64,7	—	61,2
2,2-Диметилпропандиол-1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	78,1	—	76,5
Гександиол-1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	68,4	—	65,3
Гександиол-1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	332	—	317
2-Метилпентандиол-1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	138	—	134
2-Метилпентандиол-2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	63,5	—	62,0
3-Метилпентандиол-2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	102	—	101
3-Метилпентандиол-1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	272	—	261
2,3-Диметилбутандиол-2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43,7	—	42,8
Гептандиол-1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	158	—	156
Гептандиол-1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	385	—	369
Бутен-2-диол-1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	134	—	131
Дипиленгликоль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	153	—	145
Этан	0,4	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,2	0,3	0,2
n-Бутан	2,1	1,5	2,9	2,1	2,7	2,2	2,8	2,2	1,7	0,8	1,4	0,7



Сорбат	Бис(2-этоксипропилен)фталат		Дибутилтетра-хлорфталат		Диизодецил-фталат		Дидоцилфталат		Полиэфирные эфиры				
	100 °С		120 °С		120 °С		140 °С		5 колец		6 колец		160 °С
	100 °С	120 °С	100 °С	120 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	160 °С	
Этилпропионат	67,6	37,3	55,6	31,1	34,0	20,2	34,1	20,6	29,0	10,5	26,9	9,9	
n-Пропилпропионат	131	67,5	117	61,4	66,3	37,4	67,0	37,5	53,8	16,7	49,8	15,9	
Изопропилпропионат	76,8	42,5	69,9	38,5	42,1	24,7	42,2	15,1	32,7	11,7	29,9	10,6	
n-Бутилпропионат	252	126	250	125	133	70,4	136	71,1	105	31,7	95,3	30,3	
Изобутилпропионат	181	94,2	182	93,8	100	54,7	101	54,4	72,3	22,6	66,3	22,6	
n-Пентилпропионат	490	233	527	247	263	131	136	136	200	58,0	177	51,6	
Изопентилпропионат	372	183	403	196	206	106	207	111	151	45,9	177	51,6	
(n-Пентил-2)пропионат	280	134	294	—	155	81,2	152	81,6	—	—	134	49,8	
(2-Этилгексил-1)пропионат	—	861	—	1123	1168	516	1161	519	772	161	672	150	
Амилпропионат	151	79,3	127	66,6	67,1	38,1	69,3	38,5	57,4	18,3	53,5	17,9	
Метилбутират	78,9	43,6	66,6	37,0	39,3	23,3	39,7	23,5	33,1	11,9	31,2	11,5	
Этилбутират	125	63,1	111	58,7	63,8	36,4	64,1	36,6	51,1	16,4	46,9	15,1	
n-Пропилбутират	231	116	226	114	124	67,4	126	70,3	96,5	29,2	86,6	27,3	
Изопропилбутират	142	72,0	136	71,6	80,3	43,4	80,3	43,5	57,0	18,4	52,0	17,1	
n-Бутилбутират	446	214	487	228	244	123	246	122	182	50,8	162	48,2	
Изобутилбутират	314	156	344	168	181	95,8	182	97,6	129	38,3	114	36,1	
n-Пентилбутират	849	386	1004	451	464	232	470	234	335	85,4	298	81,3	
Изопентилбутират	650	302	755	349	362	180	364	186	252	67,5	226	62,8	
Изопентил-2)бутират	465	225	538	254	278	136	281	136	188	51,6	166	47,9	
Винилбутират	111	57,1	98,5	52,6	55,9	32,0	56,3	32,1	42,8	14,9	39,8	14,3	
Метилизобутират	54,2	31,0	46,3	26,6	28,7	17,5	28,7	17,5	23,2	8,7	21,6	8,3	
n-Бутилизобутират	299	149	328	163	174	89,8	174	92,8	122	36,2	107	34,4	
Изобутилизобутират	219	112	245	124	132	70,7	132	70,7	86,2	27,6	79,4	25,8	
Метилакрилат	48,4	27,5	35,2	20,7	20,9	13,4	21,7	13,5	18,6	7,3	17,6	7,2	
Этилакрилат	76,9	42,5	59,9	33,9	35,4	21,4	36,0	21,5	29,7	11,1	28,0	10,5	
n-Пропилакрилат	147	74,7	126	65,6	69,5	79,0	70,4	39,6	55,0	18,7	51,4	17,5	
n-Бутилакрилат	286	142	270	135	140	72,5	143	74,0	109	33,5	99,5	32,2	
Изобутилакрилат	201	99,2	196	93,5	—	—	—	—	22,5	—	—	20,8	
Аллилакрилат	170	85,6	135	70,7	69,4	39,1	72,5	40,1	59,2	20,5	54,9	18,6	
Метилметакрилат	81,0	44,4	71,2	38,8	38,5	23,2	39,5	23,3	32,9	12,2	31,4	11,7	
Метилаль	15,5	10,1	13,4	8,6	9,2	5,8	9,7	5,7	7,2	3,3	6,8	3,1	
Этилметилформаль /	24,9	15,4	24,0	14,6	15,5	9,9	15,4	9,9	12,4	5,3	11,7	5,0	
n-Пропилметилформаль	34,5	—	83,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Изопропилметилформаль	20,6	20,6	37,1	21,6	22,2	14,0	22,2	13,9	16,3	6,6	14,8	6,5	
Диэтилформаль	39,8	23,5	41,0	24,4	25,3	25,5	25,5	15,6	19,2	7,6	17,8	7,4	
n-Пропилэтилформаль	73,0	40,8	82,1	45,4	48,6	27,9	48,7	28,0	35,3	13,0	32,5	12,2	
Изопропилэтилформаль	53,4	30,6	60,6	34,2	35,9	21,2	35,9	21,3	25,0	9,6	23,1	9,0	
н-Бутилэтилформаль	109	56,9	134	69,9	72,6	40,6	72,5	40,5	48,4	16,8	44,2	16,2	
Ди-n-пропилформаль	137	73,0	164	85,8	89,9	49,3	90,2	49,2	63,1	21,4	57,6	20,2	
н-Бутил-н-пропилформаль	192	100	261	131	136	70,9	136	70,2	86,6	27,1	77,7	25,7	
Диэтилпропилформаль	72,6	39,8	90,5	48,7	51,4	29,6	51,2	29,6	32,6	11,8	30,1	10,7	
Ди-n-бутилформаль	485	244	695	332	341	168	376	170	223	60,1	196	56,2	
Диизобутилформаль	235	120	347	170	182	95,9	183	95,3	110	32,6	95,2	30,4	
Ди-н-пропилформаль	275	140	406	196	203	103	204	104	128	35,8	111	33,7	
Этилглицерольформаль	50,3	30,5	35,8	22,1	22,3	14,1	22,8	14,4	23,1	9,2	22,1	9,1	
Пропилглицероль-1,2-формаль	60,1	34,6	50,0	29,2	28,6	17,6	29,2	17,9	27,9	10,9	26,4	10,8	
Пропилглицероль-2,3-формаль	127	68,7	97,4	53,8	52,0	31,2	53,1	31,9	53,0	18,8	50,1	19,0	
Бутилглицероль-1,3-формаль	152	83,0	133	72,0	68,2	79,1	69,9	40,1	62,2	22,4	59,3	21,8	
Бутилглицероль-2,3-формаль	90,9	50,5	88,5	48,9	46,2	27,1	46,6	27,1	42,0	15,4	39,8	15,0	
Бутилглицероль-1,4-формаль	157	92,5	159	89,1	82,8	48,8	84,0	49,0	84,0	30,6	79,5	29,7	
Неопентилглицерольформаль	179	96,4	174	95,4	90,5	52,3	91,8	52,9	77,4	26,7	73,4	26,0	
Ди-2-метоксипропилформаль	—	563	—	478	—	—	—	—	—	—	—	—	
Диэтилглицероль	25,5	15,4	24,1	14,6	14,8	9,7	14,8	9,8	11,9	5,2	11,2	5,0	
Диэтилглицероль	54,5	70,8	57,1	32,1	35,1	20,6	35,4	21,0	25,6	9,5	23,2	9,0	
Ди-n-пропилацеталь	167	86,3	205	102	116	59,6	117	60,0	73,6	22,9	66,5	21,6	
Диизопропилацеталь	—	47,6	—	57,8	—	—	—	—	—	—	—	—	
Диизобутилацеталь	250	128	380	185	203	103	199	106	166	32,7	93,1	30,2	
Этилглицероль-1,3-ацеталь	56,4	31,9	45,2	27,5	20,6	16,5	27,2	17,0	24,9	9,8	23,5	9,7	
Бутилглицероль-1,3-ацеталь	142	73,8	127	67,1	70,6	39,0	72,2	40,3	61,0	21,3	—	—	

Сорбат	Бис(2-этокси-этил)фталат		Дибутилтетра-хлорфталат		Динэоцид-фталат		Диоктилфталат		Полиэфирные эфиры							
	100 °С		120 °С		120 °С		140 °С		120 °С		140 °С		120 °С		160 °С	
	100 °С	120 °С	100 °С	120 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	160 °С	120 °С	160 °С
Бутилениколь-2,3-ацеталь	87,4	—	92,3	—	50,1	28,1	50,3	28,4	—	—	—	—	—	—	52,5	20,4
Диметилпропиладь	45,7	25,9	46,9	27,4	27,9	16,8	27,7	17,1	21,6	8,6	—	21,6	8,6	—	20,1	8,2
Диэтилпропиладь	90,2	48,1	106	55,5	61,0	34,4	61,3	34,4	41,0	14,1	—	41,0	14,1	—	37,2	13,2
Ди- <i>n</i> -пропилпропиладь	128	66,5	115	61,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Диметилбутираль	83,4	45,8	97,0	52,2	53,1	20,8	53,2	30,8	38,7	13,8	—	38,7	13,8	—	35,6	13,0
Бутилениколь-1,3-бутираль	408	199	437	213	227	114	233	121	179	51,0	—	179	51,0	—	162	48,6
Диметилэтиленгликоль	61,1	34,6	69,7	38,9	39,7	24,0	40,0	23,7	28,1	—	—	28,1	—	—	26,0	—
Акролеиндиэтилациацеталь	107	57,2	111	58,5	61,2	35,4	61,3	35,6	44,8	15,5	—	44,8	15,5	—	40,5	14,5
4,4-Диметокснбутанон-2	845	385	552	255	238	119	253	125	235	63,7	—	235	63,7	—	210	61,2
2,2-Диметокснпропан	32,7	19,4	35,1	21,3	21,6	13,5	21,7	13,6	16,4	6,8	—	16,4	6,8	—	15,5	6,5
2,2-Днэгокснпропан	55,5	30,9	—	—	40,0	24,3	41,6	24,3	28,7	10,6	—	28,7	10,6	—	26,4	9,9
2,2-Диаллилдиокснпропан	285	135	—	—	164	85,2	169	87,0	117	35,7	—	117	35,7	—	105	33,3
2-Этил-2-метилдиокснлаи-1,3	124	65,8	133	70,1	67,3	38,5	67,8	38,5	55,3	19,7	—	55,3	19,7	—	51,4	18,0
Диметиловый эфир	3,3	2,3	3,0	2,0	2,6	1,8	2,5	1,8	1,9	1,0	—	1,9	1,0	—	1,8	1,0
<i>n</i> -Пропилметиловый эфир	10,4	6,9	11,1	7,3	8,0	5,3	8,0	5,5	5,1	2,5	—	5,1	2,5	—	5,4	2,4
<i>n</i> -Бутилметиловый эфир	21,1	13,2	25,2	15,2	16,7	10,5	16,7	10,8	11,3	4,9	—	11,3	4,9	—	10,5	4,6
Изобутилметиловый эфир	14,3	9,3	17,2	10,8	12,0	7,9	12,0	7,9	7,9	3,5	—	7,9	3,5	—	7,6	3,4
<i>трет</i> -Бутилметиловый эфир	14,4	9,3	16,5	10,4	11,4	7,4	11,3	7,8	7,6	3,3	—	7,6	3,3	—	6,9	3,2
Диэтиловый эфир	8,7	5,9	8,9	6,2	6,8	4,5	6,7	4,7	5,0	2,1	—	5,0	2,1	—	4,5	2,1
Изобутилэтиловый эфир	31,6	18,6	39,5	23,5	26,5	16,2	26,0	16,1	17,0	6,9	—	17,0	6,9	—	15,7	6,5
<i>трет</i> -Бутилэтиловый эфир	17,3	11,0	20,9	13,3	14,9	9,7	15,0	9,7	11,2	3,9	—	11,2	3,9	—	10,2	3,8
Аллилэтиловый эфир	22,2	13,7	23,0	14,1	15,3	9,7	15,3	9,8	11,2	4,6	—	11,2	4,6	—	10,2	4,5
Ди- <i>n</i> -пропиловый эфир	27,8	16,6	35,6	21,0	24,4	14,9	24,0	14,8	15,3	6,1	—	15,3	6,1	—	14,0	5,9
Изопропил- <i>n</i> -пропиловый эфир	20,2	12,5	25,2	15,3	18,1	11,1	17,8	11,2	10,6	4,5	—	10,6	4,5	—	9,9	4,2
Эфир	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Диэнопропиловый эфир	14,2	9,1	17,8	11,1	12,6	8,2	12,6	8,2	7,1	3,3	—	7,1	3,3	—	6,6	3,1
<i>трет</i> -Бутилэнопропиловый эфир	21,9	13,5	29,7	18,2	20,5	12,9	20,4	12,6	11,3	4,9	—	11,3	4,9	—	10,3	4,5
Ди- <i>n</i> -бутиловый эфир	110	60,3	165	85,3	93,8	51,9	92,3	51,2	55,7	18,0	—	55,7	18,0	—	50,6	16,4
Ди- <i>n</i> -пентиловый эфир	401	199	332	360	176	356	174	194	53,8	174	—	53,8	174	—	49,7	—
Диэнопентиловый эфир	211	116	197	218	113	215	113	106	32,5	95,6	—	32,5	95,6	—	30,4	—
Ди- <i>n</i> -гексильовый эфир	634	334	1233	1311	570	1287	575	673	150	592	—	150	592	—	139	—
(2-Этил-1)бутиловый эфир	583	276	560	625	290	596	276	289	72,2	252	—	72,2	252	—	65,3	—
Винилэтиловый эфир	11,2	7,1	11,1	7,7	5,1	7,7	5,4	5,3	2,4	5,2	—	2,4	5,2	—	2,4	—
Винил- <i>n</i> -бутиловый эфир	41,5	24,7	49,6	30,8	18,5	31,0	18,5	20,0	8,0	18,7	—	8,0	18,7	—	7,7	—
Винилизобутиловый эфир	28,7	17,4	33,9	22,1	13,8	22,0	14,3	13,9	5,9	12,7	—	5,9	12,7	—	5,8	—
(2-Этил-1)гексилвинилловый эфир	362	179	278	193	146	290	143	165	43,4	142	—	43,4	142	—	40,6	—
Этиленгликольдиметиловый эфир	53,7	30,7	25,0	25,5	15,5	26,1	15,9	23,1	8,8	21,5	—	8,8	21,5	—	8,5	—
Этиленгликольди- <i>n</i> -бутиловый эфир	—	518	675	—	310	—	310	496	114	435	—	114	435	—	106	—
Этиленоксид	9,8	6,5	4,5	4,8	3,3	5,1	3,5	4,3	2,4	4,2	—	2,4	4,2	—	2,1	—
Пропиленоксид	15,6	10,1	11,1	7,4	8,3	5,7	8,3	5,6	7,8	3,9	—	7,8	3,9	—	7,7	3,8
Бутиленоксид-1,3	26,8	16,7	12,6	12,6	9,2	14,2	9,2	14,3	5,9	13,6	—	5,9	13,6	—	5,7	—
Бутиленоксид-1,2	31,4	19,0	25,3	16,1	17,4	11,1	17,3	11,1	14,6	6,3	—	14,6	6,3	—	13,9	6,0
Бутиленоксид-1,3	30,9	18,4	16,4	16,0	17,0	11,2	17,2	11,1	15,7	6,7	—	15,7	6,7	—	15,0	6,5
Бутиленоксид-2,3, <i>транс</i>	22,9	13,8	18,8	11,7	12,3	8,9	12,4	8,2	10,1	4,5	—	10,1	4,5	—	9,3	4,3
Бутиленоксид-2,3, <i>цис</i>	29,6	18,1	23,9	14,7	15,5	10,3	16,0	13,3	5,7	12,7	—	5,7	12,7	—	5,3	—
Тетрагидрофуран	37,9	23,0	34,3	22,2	14,2	22,1	14,2	20,8	8,5	19,9	—	8,5	19,9	—	8,4	—
2-Метилпропиленоксид-1,2	20,8	12,7	16,9	10,6	11,3	7,7	11,5	7,5	9,1	4,0	—	4,0	8,6	—	3,9	—
2-Метилтетрагидрофуран	42,4	26,0	45,1	26,7	28,1	17,6	28,1	17,6	23,4	9,5	—	23,4	9,5	—	9,2	—
2,5-Даметилтетрагидрофуран	45,0	26,5	51,3	29,8	32,0	19,7	31,9	19,6	24,3	9,5	—	24,3	9,5	—	9,4	—
Фуран	16,7	10,6	13,9	9,3	8,6	5,9	8,7	6,9	3,4	6,5	—	3,4	6,5	—	3,1	—
2-Метилфуран	31,3	19,0	31,9	17,9	11,6	18,4	11,7	13,9	6,0	13,2	—	6,0	13,2	—	5,9	—
4,5-Дигидро-2-метилфуран	45,1	27,1	—	30,2	28,0	17,5	28,0	17,5	24,2	9,9	—	24,2	9,9	—	9,5	—
3,4-Дигидропиран	57,4	34,3	34,7	34,7	21,5	35,1	21,5	31,0	12,3	29,4	—	12,3	29,4	—	12,0	—
Тетрагидропиран	57,4	34,7	36,6	37,7	23,1	37,8	23,0	33,6	13,1	32,2	—	13,1	32,2	—	12,7	—
6-Метил-2,4,7-триоксоктан	263	134	120	114	63,7	100	66,3	100	31,3	91,9	—	31,3	91,9	—	29,6	—
2-Хлорэтанол	279	137	55,2	67,0	37,4	72,5	40,7	42,4	15,5	41,1	—	15,5	41,1	—	15,1	—
3-Гидроксибутанон-2	286	138	67,1	75,3	42,2	79,4	44,8	57,9	19,7	55,2	—	19,7	55,2	—	19,7	—
4-Гидроксибутанон-2	956	430	339	172	90,8	187	99,8	148	44,1	138	—	44,1	138	—	43,5	—
1-Гидрокси-2-метилбутанон-3	—	649	264	280	142	304	154	218	60,9	203	—	60,9	203	—	58,0	—
2-Гидрокси-2-метилбутанон-3	—	131	73,4	80,8	44,9	83,8	47,0	58,2	19,6	54,2	—	19,6	54,2	—	19,4	—



Сорбат	Карбовакс 6000		Карбовакс 20 М		Касторвакс		Citroflex А 1		Дивилденглицоль-адипат		Дивилденглицоль-себациат	
	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	140 °С	80 °С	100 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С
	Пентанол-3	28,6	16,8	28,0	10,5	38,0	21,4	129	70,4	20,9	13,0	26,6
3-Метилбутанол-2	22,5	13,6	22,0	8,8	30,1	17,3	129	70,4	16,9	10,8	21,4	12,6
Гексанол-2	50,0	28,1	49,3	17,3	75,0	39,7	376	184	36,5	21,2	49,3	26,9
Гексанол-3	43,1	24,4	42,2	15,0	67,6	36,4	322	163	30,1	18,5	41,8	23,5
3-Метилпентанол-2	36,7	21,5	35,7	14,2	57,5	31,7	255	133	26,7	16,5	36,5	20,8
4-Метилпентанол-2	34,2	19,8	33,0	12,7	53,9	29,1	242	127	24,7	15,2	33,8	19,1
3,3-Диметилбутанол-2	25,6	15,4	25,1	10,3	41,0	22,9	179	95,1	19,2	12,2	26,0	15,3
Гептанол-2	87,3	47,7	84,1	26,1	141	72,6	779	368	59,3	34,1	87,7	45,7
Гептанол-3	77,4	44,1	72,3	24,1	129	66,6	684	325	50,3	—	76,3	—
Гептанол-4	37,7	37,4	63,0	21,8	116	59,8	596	286	43,7	—	67,2	—
4,4-Диметилпентанол-2	37,7	21,6	36,0	14,1	68,7	36,3	311	161	26,4	16,5	38,6	21,7
2,4-Диметилпентанол-3	33,6	19,6	32,9	12,7	64,7	35,3	292	153	23,3	14,5	35,8	20,3
Октанол-2	155	78,2	146	42,7	272	131	1666	739	97,6	54,0	154	76,8
Нонанол-2	264	127	240	70,7	515	235	—	—	171	91,7	294	136
Нонанол-5	195	97,2	185	54,6	424	193	—	—	135	69,8	228	107
Циклопентанол	98,4	56,1	92,8	32,0	102	56,9	460	235	77,8	—	84,8	—
Циклогексанол	174	92,5	166	54,7	209	106	977	470	133	74,5	160	80,6
Бутен 3-он-2	23,9	14,3	23,1	9,3	20,8	12,4	89,7	51,6	17,9	11,5	19,5	11,5
Гексен-5-он-2	64,7	35,6	62,3	21,4	74,1	39,6	406	201	47,3	28,2	58,1	31,6
3-Метилбутен-3-он-2	31,7	18,6	30,6	11,9	35,9	20,3	152	83,8	23,1	—	28,5	—
4-Метилпентен-3-он-2	68,5	38,1	66,2	23,0	87,1	46,4	424	212	49,8	29,4	63,8	34,3
Бутанол-2	25,9	14,9	24,6	9,4	20,0	11,7	112	61,2	20,4	12,6	21,4	12,1
Пентанол-2,3	40,0	22,4	38,9	13,7	39,4	21,7	235	118	—	18,1	—	19,5
Пентандион-2,4	111	63,6	103	36,4	92,3	52,5	514	259	84,6	49,2	89,6	48,5
Метанол	14,7	8,6	14,2	5,5	7,0	4,3	25,3	14,2	9,5	6,4	8,1	5,3
Этанол	17,8	10,0	16,9	6,2	11,4	6,1	43,7	23,8	11,7	7,4	11,2	6,8
n-Пропанол	32,3	17,3	31,0	10,5	23,9	12,7	101	52,9	20,8	12,4	21,6	12,5
Изопропанол	16,8	9,5	16,0	6,0	14,0	7,6	57,2	30,4	12,4	7,2	12,7	7,3
n-Бутанол	58,8	30,8	56,0	17,5	50,3	25,9	239	114	37,1	21,2	41,6	22,9
Изобутанол	43,3	23,7	41,5	13,6	37,7	20,0	172	84,0	27,2	16,1	30,8	17,7
Бутанол 2	30,0	16,5	28,6	10,0	29,4	15,9	128	64,7	20,7	12,0	23,7	13,5

Бутанол-3	14,5	8,4	13,8	5,2	16,1	9,1	65,1	35,3	11,4	6,8	12,9	7,5
Циклопропилметанол	96,0	49,2	91,3	27,3	64,9	33,3	326	153	65,1	36,3	64,2	34,9
n-Пентанол	195	52,8	188,7	28,9	102	50,4	581	244	63,9	36,2	77,6	41,0
Пентанол-2	47,9	26,9	45,8	15,4	57,8	30,1	232	133	33,9	18,9	2,4	22,5
Пентанол-3	83,6	42,6	79,5	23,9	56,1	29,6	27,2	129	32,1	18,3	40,6	22,1
2-Метилбутанол-1	28,2	16,0	26,9	9,5	36,5	19,9	421	193	40,8	—	26,3	—
2-Метилбутанол-2	84,1	43,0	79,9	24,0	81,7	41,0	409	191	49,7	—	61,4	—
3-Метилбутанол-1	43,8	23,6	42,0	13,8	49,6	26,2	240	113	29,3	16,4	36,5	19,8
3-Метилбутанол-2	48,3	26,0	45,7	14,9	47,9	25,5	229	115	29,5	16,9	36,4	19,9
2,2-Диметилпропанол-1	186	88,7	177	45,9	206	94,7	1191	500	101	58,6	141	71,1
Гексанол-1	88,7	45,0	84,3	25,1	111	54,7	618	271	51,2	23,1	76,6	—
Гексанол-2	78,4	40,3	75,7	22,7	132	51,1	564	247	50,7	25,7	3,0	—
Гексанол-3	144	70,5	136	36,5	152	74,7	885	377	50,7	45,0	110	55,6
2-Метилпентанол-1	166	81,4	157	41,4	174	85,5	955	422	88,5	54,1	100	120,5,4
3-Метилпентанол-1	151	74,5	147	38,8	161	78,5	934	397	—	2,0	8,8	5,3
4-Метилпентанол-2	45,6	24,7	44,0	14,3	64,8	34,7	329	155	32,1	10,7	22,7	13,7
3-Метилпентанол-2	77,2	40,4	74,0	22,7	101	51,8	557	250	51,1	18,0	42,6	23,7
4-Метилпентанол-2	64,9	34,4	62,7	19,4	83,6	42,5	445	203	43,1	35,8	98,1	51,8
2-Метилпентанол-3	62,9	33,4	60,7	19,1	84,3	42,6	449	205	42,1	28,8	79,6	42,2
3-Метилпентанол-3	50,0	27,2	48,6	25,9	72,9	38,0	367	172	36,9	27,8	77,1	41,3
2-Этилбутанол-1	146	71,5	138	38,1	160	76,6	895	396	86,4	26,2	71,5	38,7
2,2-Диметилбутанол-1	102	51,9	97,2	28,7	112	55,9	587	279	86,4	68,3	232	108
2,3-Диметилбутанол-2	44,3	23,8	42,5	14,4	63,0	33,5	317	149	32,3	62,2	93,5	—
3,3-Диметилбутанол-2	53,2	28,8	51,2	16,9	67,8	35,2	351	168	32,3	57,9	208	93,5
Гептанол-1	324	146	304	74,1	395	172	—	—	182	71,1	13,1	7,8
Гептанол-2	158	75,8	127	38,3	215	99,3	—	—	182	7,4	31,7	19,1
Гептанол-3	140	66,1	121	34,6	196	95,3	—	—	96,8	7,1	15,8	10,0
Гептанол-4	129	62,1	121	32,9	185	89,5	—	—	85,9	1,3	22,9	13,6
2,2-Диметилпентанол-1	165	80,3	156	41,4	201	95,7	—	—	99,6	3,7	—	3,4
2,4-Диметилпентанол-3	76,3	40,6	74,4	22,9	116	59,7	—	—	52,1	5,5	8,6	5,6
3-Этилпентанол-3	86,0	45,2	85,4	25,2	141	71,5	—	—	63,8	3,9	17,0	10,0
Октанол-1	553	239	534	112	750	306	—	—	321	3,2	11,7	7,0
Октанол-2	261	121	252	62,9	407	178	—	—	170	4,4	31,1	17,5
2-Этилгексанол-1	384	177	379	84,4	518	227	—	—	169	1,1	23,9	13,6
2-Этил-4-метилпентанол-1	288	132	274	67,8	389	172	—	—	1429	0,9	22,2	12,9
Нонанол-1	—	386	906	181	—	540	—	—	175	—	—	—

Сорбыт	Карбовакс 6000		Карбовакс 20 М		Касторвакс			Ситролак А I			Дистиллен-ат адипи		Дистиллен-глицоль себацнат	
	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	140 °С	80 °С	100 °С	120 °С	140 °С	10 °С	120 °С	140 °С	
	148	72,6	140	38,9	128	635	643	484	102	13,0	10,8	26,6	15,4	
Циклопентадиол	257	121	238	64,1	258	121	1315	566	164	10,8	21,2	21,4	12,6	
2-Метилциклопексано	271	129	255	68,7	318	154	—	764	168	8,5	18,5	49,3	26,9	
Пропен-2-ол-1	48,6	25,6	46,0	14,6	25,5	13,6	120	61,9	29,4	16,5	36,5	41,8	23,5	
Бутен-2-ол-1	88,0	45,3	84,4	25,0	56,8	297,7	283	138	52,1	15,2	33,8	20,8	19,1	
Бутен-3-ол-1	69,6	36,1	67,1	20,5	46,0	24,3	226	114	41,6	12,2	26,0	15,3	15,3	
Бутен-3-ол-2	38,8	21,1	37,3	12,3	28,0	15,5	132	67,8	25,3	34,1	87,7	45,7	—	
2-Метилпропен-2-ол-1	78,4	40,5	76,9	23,0	50,6	25,5	267	130	48,6	—	76,3	—	—	
Пентен-3-ол-1	125	62,4	117	33,8	100	50,0	53,8	247	77,8	—	67,2	—	—	
Пентен-1-ол-3	62,8	33,6	60,9	18,6	54,2	28,1	213	135	40,0	16,5	38,6	21,7	—	
Пентен-1-ол-4	57,8	31,5	55,2	17,6	51,9	28,0	255	129	38,5	14,5	35,8	20,3	—	
2-Метилбутен-3-ол-2	31,1	17,6	30,7	10,3	30,3	17,2	148	75,8	22,8	54,0	154	76,8	—	
Пропин-2-ол-1	165	78,3	155	39,8	39,7	20,0	281	130	90,1	91,7	294	136	—	
2-Метилбутин-3-ол-2	70,5	36,1	68,4	19,2	34,8	18,1	226	111	44,1	69,8	228	107	—	
Этиленгликоль	—	319	—	147	—	198	—	—	481	—	394,8	—	—	
Пропандиол-1,2	—	—	—	121	—	—	—	—	391	—	—	—	—	
Пропандиол-1,3	—	—	—	270	—	—	—	—	1005	—	—	—	—	
Бутандиол-1,2	—	—	—	177	—	—	—	—	674	—	—	—	—	
Бутандиол-1,3	—	—	—	228	—	—	—	—	609	—	—	—	—	
Бутандиол-1,4	—	—	—	469	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Бутандиол-2,3,DL	—	—	—	100	—	—	—	—	337	—	144	288	131	
Бутандиол-2,3,мезо	—	—	—	112	—	—	—	—	412	—	167	317	142	
2-Метилпропандиол-1,2	—	—	—	94,1	—	—	—	—	310	—	141	256	123	
Пентадиол-1,5	—	—	—	742	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Пентадиол-2,4	—	—	—	181	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2,2-Диметилпропандиол-1,3	—	—	—	291	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Гексаноид-1,3	—	—	—	143	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Гексаноид-1,6	—	—	—	1154	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2-Метилпентадиол-1,3	—	—	—	384	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2-Метилпентадиол-2,4	—	—	—	143	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3-Метилпентадиол-1,2,4	—	—	—	254	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

3-Метилпентадиол-1,5	966	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,8	0,7	0,1	0,1	0,2	0,2	138
2,3-Диметилбутандиол-2,3	81,3	1,0	0,6	0,6	2,3	1,9	5,2	3,9	0,5	0,4	0,9	0,8	639
Гептандиол-2,4	358	3,2	1,6	1,6	11,2	7,2	27,7	17,3	1,6	1,3	3,6	2,8	—
Октандиол-1,2	987	2,7	2,0	2,7	9,4	6,2	21,9	13,8	—	—	—	—	—
Бутен-2-диол-1,4	774	10,4	6,6	9,9	4,5	44,4	139	73,2	4,9	3,5	12,5	8,4	—
Диэтиленгликоль	595	31,6	18,1	31,0	11,1	165	83,4	293	14,0	9,2	39,6	23,1	—
Этан	0,2	0,9	0,8	1,0	0,6	0,4	0,8	0,7	0,1	0,1	0,2	0,2	—
н-Бутан	0,9	3,1	2,4	3,2	1,6	2,3	1,9	5,2	0,5	0,4	0,9	0,8	—
н-Гексан	2,7	2,0	2,0	2,7	1,6	9,4	6,2	21,9	1,6	1,3	3,6	2,8	—
2,3-Диметилбутан	10,4	10,4	6,6	9,9	4,5	44,4	139	73,2	—	—	—	—	—
н-Октан	31,6	18,1	18,1	31,0	11,1	165	83,4	293	—	—	—	—	—
н-Декан	90,8	48,4	89,4	27,0	578	234	3015	1162	38,4	23,1	122	66,7	—
н-Додекан	269	127	253	64,9	1991	726	—	4425	107	55,7	373	179	—
н-Тетрадекан	747	331	710	154	6400	2203	—	—	133	1110	477	—	—
н-Гексадекан	2020	860	1960	362	—	5800	—	—	300	3200	1200	—	—
Циклогексан	8,2	5,3	7,8	3,8	22,3	13,2	53,9	33,2	4,6	2,8	8,8	5,1	—
Бензол	25,9	15,8	24,9	10,2	31,4	19,0	115	63,0	17,0	10,7	22,7	13,7	—
Толуол	47,2	25,6	42,8	15,9	58,5	36,3	256	131	28,8	18,0	42,6	23,7	—
о-Ксилол	97,2	52,9	96,0	30,1	141	75,1	684	326	62,1	35,8	98,1	51,8	—
м-Ксилол	77,9	44,5	77,6	25,3	114	62,9	554	272	48,6	28,8	79,6	42,2	—
п-Ксилол	76,0	42,7	75,0	24,8	116	61,4	549	264	47,0	27,8	77,1	41,3	—
Этилбензол	70,9	40,2	69,6	24,3	102	56,9	516	249	44,0	26,2	71,5	38,7	—
1,2-Дилтилбензол	204	108	204	57,5	354	180	975	68,3	135	68,3	232	108	—
1,3-Дилтилбензол	177	91,8	177	49,8	327	157	970	87,5	114	57,9	298	93,5	—
1,4-Дилтилбензол	192	98,0	187	52,9	354	172	922	120	61,5	213	100	—	—
Дихлорметан	19,9	11,9	19,0	7,6	13,4	8,2	56,6	32,6	10,8	7,1	13,1	7,8	—
1,2-Дихлорэтан	46,0	26,2	42,8	15,6	32,9	19,3	163	84,1	26,6	17,4	31,7	19,1	—
Тетраэтилен углерода	16,8	11,1	17,1	7,4	26,8	16,1	87,0	48,1	10,2	7,1	15,8	10,0	—
Хлороформ	33,3	19,0	32,0	11,6	27,5	15,9	118	—	17,6	11,3	22,9	13,6	—
Метилформат	7,3	4,7	7,3	3,2	4,8	3,1	20,7	12,7	—	3,7	—	3,4	—
Этилформат	11,3	7,1	11,0	4,8	9,4	6,0	41,5	24,1	8,0	5,5	8,6	5,6	—
н-Пропилформат	19,8	11,9	19,5	7,8	20,2	11,9	93,5	52,4	13,8	8,9	17,0	10,0	—
Изопропилформат	13,4	8,4	13,1	5,4	14,2	8,7	62,9	36,3	9,4	6,2	11,7	7,0	—
н-Бутилформат	34,3	19,8	33,5	12,2	41,2	23,3	214	105	23,7	14,4	31,1	17,5	—
Изобутилформат	26,0	15,3	25,3	9,6	32,0	18,2	158	82,0	17,8	11,1	23,9	13,6	—
втор-Бутилформат	23,9	14,3	23,1	9,1	29,8	17,5	142	76,1	16,9	10,9	22,2	12,9	—

Сорбат	Карбовакс 6000		Карбовакс 20 М		Касторвакс		С (топлив. А. П)			Длина цилиндра с адипиат			Длина цилиндра с бисфитат							
	120 °С		140 °С		120 °С		140 °С		80 °С			100 °С			120 °С			140 °С		
	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С	80 °С	100 °С	120 °С	110 °С	120 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С			
<i>n</i> -Пентилформинат	62,1	33,5	58,3	—	79,6	44,3	453	226	40,1	23,0	40,1	57,5	30,5							
( <i>n</i> -Пентил-2) формиат	38,8	22,3	37,6	14,1	56,5	31,3	298	245	26,4	16,0	26,4	37,6	20,9							
( <i>n</i> -Пентил-3) формиат	40,8	23,5	39,7	14,2	58,7	33,0	307	147	27,7	16,7	27,7	38,2	21,8							
<i>n</i> -Гексилформинат	108	57,6	102	31,3	158	79,7	981	449	73,5	37,8	73,5	108	56,0							
Алцилформиат	26,0	15,6	24,9	9,6	19,4	11,9	102	55,1	18,2	11,2	18,2	20,1	11,3							
Этилендиформиат	439	—	399	—	153	—	—	—	392	179	375	169	—							
Бутилтен-1,3 днформиат	—	303	630	150	—	185	—	—	545	250	504	219	—							
Метиллацетат	11,4	7,2	11,4	4,8	10,3	6,3	44,5	25,0	5,6	9,2	5,6	9,2	5,7							
Этилацетат	15,8	9,6	15,6	6,3	17,8	10,5	80,0	42,8	7,2	23,9	7,2	23,9	8,2							
<i>n</i> -Пропилацетат	26,6	15,5	25,7	9,7	34,9	19,5	170	87,5	18,6	11,2	18,6	24,5	13,8							
Изопропилацетат	16,7	10,4	16,5	6,6	22,7	13,2	106	56,5	11,8	7,5	11,8	15,5	8,9							
<i>n</i> -Бутилацетат	45,9	25,5	44,1	15,0	69,5	36,9	375	178	30,9	17,9	30,9	42,8	22,8							
Изобутилацетат	32,7	18,7	31,9	11,5	51,5	28,5	26,5	129	22,7	13,5	22,7	17,7	11,3							
<i>втор</i> Бутилацетат	28,5	16,5	27,7	10,3	44,7	24,4	225	119	19,2	11,8	19,2	27,8	15,5							
<i>трет</i> -Бутилацетат	17,8	10,9	17,4	6,8	28,5	16,2	133	69,5	11,6	7,3	11,6	16,9	10,0							
<i>n</i> -Пентилацетат	82,0	42,3	79,3	24,8	132	69,6	774	360	50,8	28,8	50,8	79,1	40,9							
Изопентилацетат	61,0	33,1	61,5	19,6	106	55,0	581	275	39,6	22,5	39,6	61,7	32,7							
Изопеннилацетат	49,9	25,5	44,5	15,3	79,4	42,3	435	206	29,6	17,4	29,6	46,3	23,7							
( <i>n</i> -Амил-2) ацетат	47,5	25,2	44,1	14,9	79,4	42,4	427	204	29,4	17,3	29,4	45,7	24,6							
( <i>n</i> -Амил 3) ацетат	33,5	19,2	32,4	12,0	58,0	32,9	293	148	21,2	13,1	21,2	33,6	18,8							
(2-Метилбутил-2) ацетат	140	70,1	136	40,5	252	121	1628	712	92,6	45,1	92,6	147	68,5							
<i>n</i> -Гексиллацетат	57,4	31,8	53,1	17,6	103	54,3	632	295	37,1	19,9	37,1	60,3	30,2							
(4-Метилмил-2) ацетат	105	55,0	100	29,8	191	94,8	1174	525	68,5	34,8	68,5	110	52,2							
(2-Этилбутил-1) ацетат	242	116	232	60,8	478	214	—	1429	155	81,2	155	263	132							
<i>n</i> -Гептилацетат	254	121	247	66,4	567	254	—	1716	155	81,2	155	263	132							
(2-Этилгексил-1) ацетат	220	110	211	64,2	339	165	—	1716	155	81,2	155	263	132							
Циклогексиллацетат	16,4	9,9	16,0	6,5	14,3	8,8	70,4	40,2	11,3	8,1	11,3	13,2	8,8							
Винилацетат	35,0	19,7	33,6	12,0	34,6	19,4	185	97,1	24,6	14,8	24,6	29,3	16,3							
Аллиллацетат	28,3	16,5	27,3	10,0	27,3	15,8	147	79,0	19,5	12,3	19,5	23,7	13,5							
Изопропенил ацетат	98,1	48,4	91,0	26,1	46,8	25,5	—	176	—	—	—	—	—							
1 Ацетоксипропили 2	275	127	357	69,3	149	74,0	1578	672	205	101	205	192	87,1							
Метилэтиллацетат	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							

Этилендилацетат	224	108	210	55,6	150	77,3	1514	650	159	78,3	161	75,8
Этилендилацетат	541	234	506	120	345	160	—	1499	387	185	383	170
Неопентилдилацетат	—	381	—	—	—	427	—	—	645	307	767	337
Этиллипропионат	18,1	11,0	17,6	7,0	20,0	11,8	90,7	50,1	12,9	8,0	15,6	9,2
<i>n</i> -Пропилпропионат	24,1	14,1	23,4	9,0	32,6	18,3	159	79,0	12,9	10,2	22,3	11,2
Изопропилпропионат	39,2	21,8	38,0	13,1	62,9	33,3	329	155	26,1	15,6	38,5	21,2
<i>n</i> -Бутилпропионат	24,7	14,3	23,9	9,0	40,3	22,3	201	97,7	15,9	9,6	23,7	13,3
Изобутилпропионат	69,8	36,1	66,7	21,5	119	62,6	681	296	43,0	24,0	68,5	35,9
<i>n</i> -Пентилпропионат	51,2	27,2	48,1	15,8	89,1	47,7	481	229	31,3	18,4	51,5	27,2
Изопентилпропионат	119	60,4	114	35,5	228	111	1442	625	76,2	38,7	125	60,3
( <i>n</i> -Амил-2) пропионат	91,3	48,0	88,8	29,1	176	88,3	1082	476	39,0	31,1	98,7	47,5
(2-Этилгексил-1) пропионат	65,8	38,7	65,5	19,0	129	69,1	803	362	39,0	22,5	73,4	35,7
Аллилпропионат	355	166	345	80,7	932	404	—	—	213	108	419	198
Этилендипропионат	54,5	29,0	50,3	16,6	61,5	34,4	359	178	21,3	10,8	49,9	24,9
Метилбутират	—	419	—	—	—	391	—	—	672	303	786	334
Этилбутират	29,0	16,8	27,8	10,4	38,2	21,3	183	91,5	19,6	12,3	26,0	15,0
<i>n</i> -Пропилбутират	37,9	21,4	36,6	12,8	60,8	32,8	313	147	24,6	14,9	35,8	19,8
Изопропилбутират	63,3	34,8	61,5	19,6	110	58,8	634	291	—	22,5	62,2	32,4
<i>n</i> -Бутилбутират	38,8	21,1	36,9	12,6	70,1	38,1	380	184	—	14,6	37,5	21,0
Изобутилбутират	107	55,0	103	30,7	211	101	1300	680	61,9	35,2	105	54,0
<i>n</i> -Пентилбутират	77,5	41,2	74,9	23,8	156	79,3	915	420	50,2	26,6	84,6	42,0
Изопентилбутират	181	90,7	131	47,0	393	183	—	1141	110	54,7	200	90,8
Изозамилбутират	137	71,0	134	38,4	306	144	—	—	860	89,8	44,9	73,1
( <i>n</i> -Пентил-2) бутират	101	53,3	101	29,4	233	110	1576	660	66,6	32,5	117	54,5
Винилбутират	36,7	20,5	35,5	12,8	50,6	28,0	265	135	34,1	14,5	34,6	18,9
Метилэтилбутират	20,3	12,0	19,6	7,8	27,4	15,7	122	65,3	13,5	8,5	18,2	10,9
<i>n</i> -Бутилэтилбутират	72,4	38,1	70,0	22,3	149	74,5	866	400	42,8	23,4	75,0	39,3
Изобутилэтилбутират	55,0	30,5	50,4	16,7	112	57,8	635	297	35,2	18,9	59,1	30,5
Метилакрилат	22,1	13,1	21,1	8,4	20,3	12,0	92,7	49,9	15,2	9,5	17,7	10,4
Этилакрилат	29,5	17,2	28,4	10,8	33,6	18,9	170	84,9	19,8	12,2	25,5	14,6
<i>n</i> -Пропилакрилат	49,2	27,2	46,5	16,2	64,8	34,8	337	166	31,2	18,7	42,0	23,5
<i>n</i> -Бутилакрилат	84,3	43,2	80,5	25,7	122	63,6	766	336	51,2	29,6	77,6	40,7
(2-Этилгексил-1) акрилат	—	194	—	97,5	—	412	—	259	—	131	502	218,4
Аллилакрилат	64,4	34,0	60,5	20,4	63,7	34,7	394	184	41,8	23,2	52,6	28,4
Метилметакрилат	32,0	18,5	31,2	11,5	37,4	21,1	179	90,7	21,3	—	28,0	—
Пропил тен шакрилат	—	548	—	—	—	448	—	882	398	1022	438	—
Метилалл	7,9	4,7	7,1	3,3	9,7	5,4	31,7	18,5	5,5	3,6	6,7	4,1

Сорт	I пропуск 6000		II пропуск 20 М		Кислотность		Ситрофас А-1		Длина цыплят		I индекс цыплят	
	130	140	120	160	120	140	80	100	120	140	120	140
	с	с	с	с	с	с	%	%	с	с	с	с
Эдметин форма-ль	10,4	6,6	10,2	4,6	15,4	9,3	55,4	32,3	7,5	5,1	9,9	6,4
Позаровы мети-форма-ль	12,5	8,0	12,2	5,3	22,2	13,0	87,1	46,9	8,8	5,8	12,7	7,9
Ци-е-р-ма	14,2	8,8	13,8	5,9	25,2	14,5	100	55,1	9,9	6,4	14,1	8,5
Ци-е-р-ма	23,0	13,7	22,5	8,8	47,3	25,3	207	104	14,8	9,4	23,4	13,7
Ци-е-р-ма	19,9	10,3	16,5	6,6	34,9	19,2	152	70,9	11,4	7,2	18,0	9,0
Ци-е-р-ма	29,4	17,0	28,4	10,8	68,9	36,4	315	158	19,1	11,9	31,7	—
Ци-е-р-ма	36,9	20,7	35,6	12,8	84,5	43,3	414	199	22,7	13,8	38,8	—
Ци-е-р-ма	49,2	26,0	45,0	15,8	116	61,6	6129	292	18,9	—	33,2	—
Ци-е-р-ма	20,0	11,9	19,5	7,5	48,4	26,5	223	110	13,0	8,0	—	9,0
Ци-е-р-ма	109	56,9	95,3	30,6	283	133	—	768	53,1	31,8	121	60,9
Ци-е-р-ма	56,8	31,3	53,2	17,3	144	72,0	892	394	32,1	17,2	65,4	32,7
Ци-е-р-ма	62,6	33,2	61,5	19,0	170	82,1	963	442	36,8	—	76,0	—
Ци-е-р-ма	26,9	16,2	26,1	10,4	23,1	14,0	95,8	52,6	20,8	13,3	22,2	12,9
Ци-е-р-ма	26,5	15,8	26,5	10,6	29,4	16,9	123	68,9	20,6	13,0	24,0	14,1
Ци-е-р-ма	53,5	30,6	52,1	19,2	54,1	30,4	244	120	13,1	25,5	47,1	25,8
Ци-е-р-ма	55,5	31,6	53,6	19,7	68,7	37,4	319	156	43,2	26,1	52,9	29,1
Ци-е-р-ма	35,3	20,8	34,5	13,1	47,2	26,4	210	106	26,9	16,3	34,5	19,6
Ци-е-р-ма	66,2	38,1	64,0	24,3	89,2	49,1	339	176	50,2	27,4	62,6	35,4
Ци-е-р-ма	66,3	35,2	57,3	20,8	86,9	48,2	421	205	45,5	27,4	60,8	33,3
Ци-е-р-ма	10,1	6,6	10,0	4,5	14,9	9,3	54,2	31,4	8,6	5,9	—	5,6
Ци-е-р-ма	16,7	10,0	16,0	6,5	33,5	18,6	148	76,3	12,0	7,5	12,3	7,3
Ци-е-р-ма	39,3	21,5	37,5	12,8	94,6	50,5	453	244	21,4	13,1	23,7	—
Ци-е-р-ма	53,0	28,7	46,2	15,4	146	76,0	967	438	27,6	16,2	33,0	—
Ци-е-р-ма	23,9	15,2	24,5	9,6	27,3	16,1	112	61,8	18,7	11,8	22,4	12,9
Ци-е-р-ма	1,9	25,2	43,3	15,1	63,3	35,4	327	156	32,1	19,1	42,5	23,5
Бутиленгликоль 2,3	29,5	17,2	—	—	50,9	26,9	219	110	—	13,1	—	17,6
Диметилпропи-ла-ль	15,9	9,9	15,7	6,6	27,5	15,7	107	60,0	10,2	6,6	—	—
Дизилпропи-ла-ль	24,1	14,1	23,2	8,8	56,6	30,8	285	132	12,7	—	—	—
Диветибу-ди-ра-ль	26,3	15,5	25,5	9,8	50,4	29,5	231	114	—	—	12,4	—
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	291	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	107	56,9	102	31,1	187	94,1	1145	515	69,3	35,8	113	54,2
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	19,2	11,8	18,7	7,6	37,7	21,1	162	84,9	—	—	—	—
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	30,8	17,8	29,7	11,0	56,5	31,1	283	145	12,8	8,1	12,7	7,5
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	169	346	709	—	—	433	—	—	—	21,4	—	22,9
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	118	243	64,6	237	108	—	—	796	—	—	217	137
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	12,4	7,7	11,9	5,3	22,2	12,9	80,3	44,2	12,5	—	8,9	5,4
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	16,3	9,8	16,1	6,4	38,9	21,8	174	83,5	—	—	—	—
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	76,9	40,7	71,9	22,9	131	68,5	914	416	—	—	—	—
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	3,3	24,9	41,8	15,1	66,3	36,8	311	153	30,1	18,6	40,4	23,0
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	2,0	1,3	1,7	1,1	2,7	1,8	6,0	4,0	1,45	1,2	1,7	1,3
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	4,1	2,8	4,1	2,0	8,0	5,0	24,0	14,5	2,9	1,0	4,5	2,7
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	7,6	4,9	7,3	3,6	16,5	9,8	53,7	30,0	—	3,4	8,3	5,1
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	5,2	3,7	5,2	2,5	13,6	7,3	36,3	21,2	—	—	5,9	—
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	5,2	3,7	5,1	2,6	11,6	7,0	35,0	20,7	3,6	2,6	5,9	3,8
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	3,6	2,4	3,5	1,7	6,7	4,3	20,0	12,2	2,4	1,7	3,7	2,3
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	9,9	6,4	9,6	4,3	25,0	14,7	87,6	47,0	5,8	3,6	11,1	6,0
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	5,7	3,7	5,6	2,6	14,1	8,4	47,0	20,9	—	2,2	6,2	3,7
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	8,6	5,7	8,4	3,8	14,5	9,0	51,9	30,5	5,6	3,8	—	5,2
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	5,9	5,6	8,5	3,8	22,9	13,3	78,1	42,7	5,2	3,5	—	5,8
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	6,4	4,3	6,0	2,9	16,6	9,9	56,4	31,4	3,9	2,5	—	4,2
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	4,5	3,2	4,3	2,1	11,9	7,2	39,1	22,5	2,8	1,8	5,3	3,0
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	6,3	4,1	6,3	3,0	18,7	11,0	—	36,9	3,9	2,7	7,6	4,8
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	26,2	15,2	25,6	9,7	84,9	44,6	368	175	14,6	9,3	31,2	17,8
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	79,4	42,4	74,4	23,2	272	131	—	702	45,8	—	106	49,9
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	49,1	26,8	43,7	15,0	167	82,9	869	403	27,2	14,5	63,8	32,2
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	231	111	227	55,4	950	406	—	—	121	59,5	324	142
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	103	53,5	101	28,6	421	196	—	1186	54,1	26,1	146	67,0
Ди-э-ти-бу-ди-ра-ль	5,1	3,3	4,9	2,3	7,1	4,4	25,1	15,3	12,4	7,7	13,3	7,7

Сорбат	Карбовакс 6000		Карбовакс 20 М		Касторвакс		Citroflex А 4		Диэтилглицоль-эдицинат		Диэтилглицоль-себаццинат	
	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	140 °С	80 °С	100 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С
Винил- <i>n</i> -бутиловый эфир	14,6	8,7	13,9	6,0	28,0	15,8	111	59,7	—	—	—	—
Винил-изобутиловый эфир	10,1	6,3	10,0	4,3	20,2	12,0	75,7	44,0	28,8	16,0	—	—
(2-Этил-1) гексилловый эфир	81,3	42,3	80,3	23,2	214	107	1372	609	—	—	—	—
Этиленглицольдиметилловый эфир	20,2	12,0	19,5	7,8	26,4	14,9	107	58,1	15,6	9,9	19,3	11,3
Этиленглицольди- <i>n</i> -бутиловый эфир	93,9	204	51,8	—	252	—	—	—	125	65,4	256	121
Этиленоксид	5,8	3,8	5,6	2,9	4,8	3,2	15,9	10,0	—	—	—	—
Пропиленоксид	7,8	5,0	8,1	4,2	8,4	5,2	28,4	16,4	—	—	—	—
Пропиленоксид-1,3	13,0	8,3	12,9	5,7	15,8	9,4	47,5	27,3	10,6	—	—	—
Бутиленоксид-1,2	13,5	8,6	13,2	5,9	17,2	10,3	62,3	35,2	—	—	—	—
Бутиленоксид-1,3	12,7	8,5	12,7	5,8	19,1	11,5	59,5	33,5	10,4	—	—	—
Бутиленоксид-2,3, <i>транс</i>	9,1	6,0	9,3	4,2	12,1	7,6	43,8	25,2	—	—	—	—
Бутиленоксид-2,3, <i>цис</i>	12,4	7,7	12,0	5,3	16,5	9,5	56,3	31,8	—	—	—	—
Тетрагидрофуран	16,4	10,5	16,0	7,0	24,2	14,5	74,5	42,0	12,6	8,3	16,0	9,8
2-Метилпропиленоксид 1,2	8,6	5,6	8,4	3,9	11,5	7,1	39,7	23,1	8,8	6,0	11,1	6,8
Фурац	9,6	6,2	9,5	4,2	8,1	5,6	32,3	19,2	6,3	4,2	7,5	4,7
2-Метилфуран	15,3	9,5	14,8	6,3	17,3	10,3	68,1	38,2	10,3	6,8	13,4	8,1
2-Метилтетрагидрофуран	16,9	10,5	16,4	7,2	30,6	17,6	96,2	52,7	12,2	8,0	17,5	10,5
2,5-Диментетрагидрофуран	15,6	9,6	15,2	6,5	33,3	19,0	109	59,0	10,7	7,0	17,2	10,2
<b>4,5-Дигидро-2-метилфуран</b>	20,0	12,4	19,7	8,3	27,7	16,5	98,8	56,2	—	—	—	—
3,4-Дигидропиран	25,8	15,7	25,1	10,3	34,9	20,4	125	69,8	—	14,8	—	15,7
Тетрагидропиран	23,3	14,5	23,0	9,6	41,4	23,6	129	71,8	—	11,1	—	14,3
6-метил-2,4,7-триоксоктан	79,4	43,6	74,4	24,3	113	60,9	667	313	58,3	32,4	77,6	—
2-Хлорэтанол	223	112	198	56,2	89,3	45,4	488	237	127	—	110	—
3-Гидроксибутанол-2	143	75,5	140	40,7	82,9	46,4	485	237	113	56,4	100	53,0
4-Гидроксибутанол-2	497	234	470	114	236	116	1532	659	373	167	288	135
1-Гидроксн-2-метилбутанон-3	683	307	641	146	375	173	—	1113	512	220	434	196
2-Гидроксн-2-метилбутанон-3	112	58,5	106	328	89,8	46,7	—	255	96,7	47,8	93,3	48,7
4-Гидроксн-4-метилпентанон-2	215	110	202	57,0	198	98,6	—	576	185	87,4	187	92,7
3-Метоксибутираль	73,9	40,9	72,7	23,6	73,9	40,5	432	215	—	33,6	—	36,5
2-Метоксизэтанол	—	41,1	72,1	23,6	—	27,2	215	111	53,1	30,7	47,7	27,7
2-Этоксизэтанол	—	51,0	91,0	29,2	—	39,3	341	169	64,3	36,8	63,2	35,3
2-Бутоксизэтанол	—	122	243	62,9	—	122	1440	636	156	82,1	184	92,3
2-Алликсизэтанол	—	115	226	593,3	—	81,1	969	438	155	83,2	152	78,1
2-Метоксипропанол-1	—	46,1	84,2	25,6	—	37,6	326	163	60,9	32,9	61,2	34,2
2-Этоксипропанол-1	—	52,1	95,6	28,8	—	49,4	471	228	—	34,6	—	39,9
3-Этоксипропанол-1	—	103	204	53,1	—	87,0	1057	465	137	67,3	147	79,3
1-Метоксипропанол-2	—	31,4	57,2	19,0	—	27,7	229	117	40,9	23,7	43,0	24,5
1-Пропоксипропанол-2	—	37,3	104	31,5	—	66,5	701	331	76,7	38,7	95,6	49,0
2-Пропоксипропанол-1	—	—	—	—	—	—	—	—	99,0	—	120	—
(Изопрокси-1) пропанол-2	—	—	—	—	—	—	—	—	50,9	—	62,7	—
3-Метоксибутанол-1	—	102	200	53,2	—	88,7	1021	459	149	70,9	155	76,3

Сорбат	Карбовакс 6000		Карбовакс 20 М		Касторвакс		Citroflex А 4		Диэтиленгликоль адипинат		Диэтиленгликоль себацинат	
	120 °С	140 °С	120 °С	160 °С	120 °С	140 °С	80 °С	100 °С	120 °С	140 °С	120 °С	140 °С
	1-Этоксипентанол-3	—	118	233	61,3	—	151	—	864	163	85,3	213
4-Метоксн-4-метилпептаион-2	—	87,2	159	47,9	—	125	—	606	123	66,9	159	82,8
2-Метокснэтилвинилловый эфир	37,6	21,3	36,8	12,8	44,3	23,8	232	116	—	—	—	—
Ди-(2-этокснэтиловый) эфир	—	117	256	63,0	—	188	—	—	185	91,4	272	120
Эфир	—	94,8	182	49,6	—	118	—	777	140	72,7	176	86,8
(3-Метоксн 1)бутилацетат	—	56,9	107	30,7	—	51,8	—	319	90,1	43,2	93,6	47,5
2-Метокснэтилацетат	—	70,8	135	37,4	—	73,7	—	483	101	49,4	122	59,7
2-Этокснэтилацетат	—	153	314	75,3	—	92,0	—	769	264	130	227	111
Ацетонилацетат	—	95,4	183	49,6	—	119	—	779	139	73,4	175	87,9
(3-Метоксн-1)бутилацетат	101	53,2	98,2	29,8	169	82,9	1028	467	73,8	—	104	—
1,1,1-Триметокснбутан	35,1	20,4	34,1	12,7	38,5	21,6	197	101	—	16,2	—	—
Метокснметилаь	152	77,0	142	42,3	153	74,3	1074	472	117	—	130	—
Диметокснметилаь	583	272	561	134	550	240	—	—	458	—	512	—
1,4-Двоксн	47,0	27,1	45,7	17,0	49,4	27,8	204	109	37,9	—	41,7	23,6
Триоксн	79,5	42,3	74,7	25,5	53,0	27,9	268	134	65,4	36,9	58,4	31,5
1,3,5-Триоксн	117	64,1	114	37,0	98,1	53,6	253	253	96,3	54,2	96,3	51,5
Параальдегид	48,4	26,0	45,6	15,0	54,6	29,9	349	168	33,7	—	40,3	—
Вода	30,6	16,2	29,4	9,6	6,1	3,4	27,3	16,1	19,4	11,3	14,0	8,9

Примечание. Неподвижные фазы карбовакс 6000, карбовакс 20 М, Citroflex А 4, диэтиленгликольадипинат, диэтиленгликольсебацинат наносили на целит в количествах, соответственно 22,0, 21,9, 21,3, 25,2, 24,5, 25,6%. Две последние неподвижные фазы использовали со стабилизатором, добавленным фирмой изготовителем — Polvester C5 (Analabs). Эти неподвижные фазы реагируют с рядом классов соединений так же как оксиды металлов, содержащиеся в них. Колонки с этими неподвижными фазами оказались недоступными для большинства соединений во время их использования. Показатели прочности сорбентов приведены в таблице. Режимы протирания сорбентов: 18 ч при 150 °С и 10 ч при 170 °С (15 ч при 150 °С и 3 ч при 120 °С) для карбовакса; 3 ч при 190 °С и 1 ч при 105 °С для Citroflex А 4; 18 ч при 150 °С и 10 ч при 170 °С для диэтиленгликольадипината и диэтиленгликольсебацината.

Таблица II.13. Свойства некоторых специфических неподвижных фаз

Неподвижная фаза	Температурный предел активной работы (мезофаза), °С	НТП, °С	ВТП, °С	Растворитель
4,4'-Азоксидианизол	120—135	120		А, Х
4,4'-Азоксидифенетол	132—168	132	140	Э, Х
Алюминий-трис (генэйкозан-дион-10,12)	—	41	120	Э, Х
7,8-Бензохинолин	—	55	120	Э, Х
Бериллий-бис (генэйкозан-дион-10,12)	—	55	120	Э, Х
N,N'-Бис (n-бутокснбензилиден)-α,α'-би-n-толуидин	188—303	—		Х
N,N'-Бис (n-метокснбензилиден)-α,α'-би-n-толуидин	181—320	—		Х
4,4'-Бис (гексилокси) азоксибензол	71—80	—	120	Х
4,4'-Бис (гептилокси) азоксибензол	80—130	—	110	Х
n,n'-Бис (n-метокснбензилиден-амино)-3,3-дихлорбифенил	154—334	—	200	Х
3,3'-Иминодипропионитрил	—	20	60	Х
Медь-бис (генэйкозандион-10,12)	—	—	120	Э, Х
Медь-бис (N-додецилсалицилальдмин)	—	60	180	Х
1-Нафтиламин	—	52	75	Э
Никель-бис (генэйкозандион-10,12)	—	50	120	Э, Х
Никель-бис (N-додецилсалицилальдмин)	—	55	180	Х
Насыщенный раствор нитрата серебра в бензилдианиде	—	20	—	—
Насыщенный раствор нитрата серебра в полипропиленгликоле	—	—	—	—
Октадециламин	—	56	150	Эт
Платина-бис (N-додецилсалицилальдмин)	—	100	160	Х
Платина-бис (метил-n-октилглиоксим)	—	120	160	Х
Полиоксиэтилен (8) этилендиамин	—	—	150	А
Полипропиленамин	—	—	200	Х
2,4,7-Тринитрофлуоренон-9	—	—	150	А
Трис (пропионитриламином)	—	—	80	Х
Трис (2-цианэтиловый эфир) триэтанолamina	—	—	190	Х
Уреид- <i>L</i> -валина изопропиловый эфир	—	100		Б, Т
N-Фенилдиэтанолaмин	—	60	170	А
Фенилдиэтанолaминсукцинат	—	25	200	А, Х
m-Фенилендиамин	—	65	75	Х
Холестерилацетат	Мезофаза 95—117	—	110	Б
Холестерилбензоат	Мезофаза 149—180	—	160	А
Холестерилмиристат	Мезофаза 70—123	—	80	Б
Холестерилноаноат	Мезофаза 78—91	—	90	Б
Цинк-бис (генэйкозандион-10,12)	—	170	200	А
Amie 220 (1-оксиэтил-2-гептадецилимидазолин)	—	20	180	Х
Agmeen 2S (вторичный алифатический амин из соевого масла)	—	30	100	Х
Agmeen SD (первичный амин из соевого масла)	—	30	75	Х

Неподвижная фаза	Температурный предел активной работы (мезофаза), °С	НТП, °С	ВТП, °С	Растворитель
Ventone 34 (диметилдиоктадецил-аммониевое производное монтмориллонита)		20	200	T, X
POLY-A 101A (полиамид)		50	275	X
POLY-A 103 (полиамид)		70	275	X
POLY-A 135 (полиамид)		70	250	X
POLY-1 110 (полиамид)		95	275	X
Quadrol [тетраakis(оксипропил)этилендиамин]		20	150	A, X
Versamid 900 (линейный полиамид)		190	250	X+Me
Versamid 930 (линейный полиамид)		115	250	X+Me
Versamid 940 (линейный полиамид)		115	200	X+Me

Примечания. Свойства жидкокристаллических неподвижных фаз подробно излагаются в обзоре. Kelker H., Schvizhoffer E. In: Advances Chromatogr. Ed. by Giddings J. C., 1968, v. 6, p. 247—297.

Оптически активные неподвижные фазы используют для разделения оптически активных изомеров, в основном, биологически важных соединений, см., например, Howard P. Y., Parr W. — Chromatographia, 1974, v. 7, N 6, p. 283—286; Kraus G., Winterfeld A. — Wiss. Z. M. — Luther Univ. Halle-Witt., Math. — Naturwiss. R., 1978, B. 27, N 5, S. 83—95.

Материал по химически селективным неподвижным фазам подробно изложен в книге: В. Г. Березкин. Химические методы в газовой хроматографии. М., Химия. 1980. 256 с. (гл. VI).

## Глава 4

### СМЕШАННЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ

Характеристика суммарной избирательности неподвижной фазы — относительного удерживания — является многофакторным параметром, в который входит энергия различных типов межмолекулярных сил, энтропийные показатели избирательности, работа образования дырки. Естественно, что выразить относительное удерживание как сумму всех этих факторов чрезвычайно затруднительно, в особенности для практических аналитических определений. Вряд ли использование и эмпирических показателей типа «полярности» по Роршнайдеру или Мак-Рейнольдсу может облегчить положение. Поэтому представляется на данном этапе более целесообразным выбирать стандартные неподвижные фазы по определенным признакам избирательности, не охватывающим весь комплекс факторов. Одним из таких признаков может служить полярность неподвижной фазы.

Под полярностью неподвижной фазы будем подразумевать насыщенность пространства конденсированной фазы полярными функциональными группами, обладающими высоким дипольным

моментом связи, при минимальном экранировании этих групп. Таким образом, при использовании полярной неподвижной фазы должны быть созданы условия для полной реализации возможного ориентационного взаимодействия с молекулами сорбата. Такому требованию удовлетворяют, например, 2-цианэтильные или 2-цианпропильные производные пропана и гексана, хотя в этих молекулах наблюдается определенное внутримолекулярное экранирование полярных нитрильных групп. Тогда в качестве стандартных неподвижных фаз необходимо выбрать два вещества, каждое из которых обладает экстремальной полярностью: неполярное и весьма полярное.

В гл. 1, ч. II приведены свойства углеводородных неподвижных фаз и сделан вывод, что наиболее приемлемой стандартной неполярной неподвижной фазой может быть разветвленный парафин C<sub>87</sub> — аполан. Его НТП ограничен температурой плавления и может быть оценен как 40 °С; для более низких температур можно использовать сквалан, однако, следует помнить, что сквалан нуждается в тщательной очистке методом препаративной жидкостной хроматографии, лучше всего — на силикагеле. Остальные предложенные в литературе неполярные неподвижные фазы представляют собой либо технические смеси или смеси полимеров, либо — в случае индивидуальных чистых веществ — обладают слишком узким температурным интервалом использования в ГЖХ. Недостатком аполана является его высокая стоимость, температурный предел его применения — 260 °С — также накладывает определенные ограничения на использование этой неподвижной фазы. Интерес представляют диметилсиликоны в качестве стандартных высокотемпературных неподвижных фаз, работающие до 350 °С. При высоких температурах энергия ориентационного взаимодействия уменьшается, поэтому можно считать, что в этих условиях диметилсиликоновые неподвижные фазы обладают минимальной полярностью, приближающейся к полярности парафиновых неподвижных фаз. Поэтому можно было бы рекомендовать в качестве стандартной неполярной неподвижной фазы такой диметилсиликон с воспроизводимыми свойствами как OV-101.

Гораздо сложнее выбрать стандартные полярные неподвижные фазы, поскольку с одинаковым успехом можно отобрать десятки соединений, обладающих примерно одинаковыми параметрами. В качестве полярных стандартных неподвижных фаз могут быть использованы полимерные или мономерные соединения. Из полимерных можно отметить две группы веществ: полиэферы и полисилоксаны с нитрильными группами. Полярность этих двух групп соединений приближается к максимальной. Среди полиэфиров большое распространение получили полиэтиленгликольсукцинат и полиэтиленгликольадипинат; эти два полимера можно было бы рекомендовать как стандартные полярные неподвижные фазы. Максимальная температура использования этих неподвижных фаз составляет 200 °С; по неко-

торым литературным сведениям при тренировке этих неподвижных фаз в колонке наблюдается их полимеризация на поверхности носителя, что проявляется в образовании неэкстрагируемого слоя полиэфира на поверхности носителя. Это, по-видимому, связано с наличием остатков катализатора в полимерной неподвижной фазе. Такие явления приводят к неудовлетворительной воспроизводимости свойств неподвижной фазы, что заставляет с определенной осторожностью относиться к использованию полиэфиров. Кроме того, необходимо учитывать, что молекулярная масса полиэфира зависит от технологии его синтеза и что на практике встречаются полиэферы различной консистенции с разными молекулярными массами.

Несколько лучшими характеристиками по температурным пределам использования и по воспроизводимости свойств обладают нитрилполисилоксановые неподвижные фазы, температурный предел использования которых достигает 275 °С. В качестве стандартных полярных силоксановых неподвижных фаз можно рекомендовать такие вещества как силары и OV-275. При достаточно высокой молекулярной массе (более 5000) небольшие колебания в молекулярно-массовом распределении полимера в полисилоксановой неподвижной фазе мало влияют на ее избирательность.

Из мономерных полярных стандартных неподвижных фаз можно было бы рекомендовать 1,2,3-трис(2-цианэтокси)пропан или гексакис(2-цианэтокси)гексан, верхний температурный предел применения которых составляет 180—200 °С. Однако колонки с такими неподвижными фазами обладают невысокой эффективностью.

Выбор двух стандартных неподвижных фаз с экстремальными величинами полярности (0 и 100 по шкале Поршайдера) сам по себе не решает проблемы большинства аналитических разделений разнообразных смесей органических соединений. Во многих случаях удовлетворительное разделение компонентов смеси не может быть достигнуто ни на полярной, ни на неполярной стандартных неподвижных фазах и для решения задачи необходимо использовать неподвижные фазы, обладающие промежуточными значениями полярности. Большинство неподвижных фаз, упомянутых в литературе и выпускаемых промышленностью, как раз и относится к соединениям, обладающим промежуточной полярностью. Для уменьшения чрезмерно большого многообразия таких неподвижных фаз могут быть использованы два пути: выбор нескольких стандартных неподвижных фаз промежуточной полярности, полярности которых перекрывают бы весь диапазон полярности, или же получение сорбентов промежуточной полярности путем смешения ингредиентов с экстремальной полярностью в желаемой пропорции. Примером решения задачи путем выбора стандартных неподвижных фаз промежуточной полярности служит работа Leary J. J. e. a. — J. Chromatogr. Sci., 1973, v. 11, p. 201—209. Индексы Мак-Рей-

нольдса были использованы авторами этой работы для выделения при помощи компьютера 12 групп неподвижных фаз, для каждой из этих групп была предложена стандартная неподвижная фаза, которая по показателям избирательности ближе всего подходит для всех членов данной группы (табл. 10, Б). Конечно, выбор таких стандартных неподвижных фаз не лишен определенного субъективизма, а некоторые из предлагаемых стандартов не могут быть признаны воспроизводимыми, как, например, силиконы SE-30, DC-710, QF-1, XE-60. Непонятно также, почему авторы предпочитают эфиры диэтиленгликоля, а не этиленгликоля: однако данные этой таблицы хорошо иллюстрируют положение о том, что 10 неподвижных фаз промежуточной полярности вполне заменяют более сотни разнообразных соединений

Применение смешанных сорбентов более целесообразно, так как для их приготовления требуется только две неподвижные фазы, а не 10—12 индивидуальных стандартных неподвижных фаз. Применение смешанных сорбентов позволяет плавно перекрывать весь интервал полярности, а нужное соотношение составных частей рассчитывают, исходя из необходимой степени разделения компонентов смеси. Смешанный сорбент может быть приготовлен по одному из трех вариантов: последовательно соединенные колонки, одна из которых содержит полярную, а другая — неполярную неподвижные фазы; смешанная неподвижная фаза нанесена на носитель; смесь сорбентов, каждый из которых содержит индивидуальную неподвижную фазу. При использовании составных колонок, линейная скорость газа-носителя неодинакова в каждой из частей, что ставит их в неодинаковые условия по эффективности разделения; кроме того, определенные технические трудности возникают при плавном варьировании длины колонки для достижения желаемой пропорции исходных компонентов смешанной неподвижной фазы. Использование смешанной неподвижной фазы также неудобно вследствие плохой смешиваемости компонентов, обычно полярная и неполярная неподвижные фазы нерастворимы друг в друге. В результате на сорбенте возникает новая фазовая граница раздела, на которой возможна дополнительная адсорбция компонентов разделяемой смеси. Наличие такой адсорбции усложняет расчеты пропорций компонентов смешанной неподвижной фазы. Поэтому единственно приемлемым вариантом является смешивание индивидуальных сорбентов, содержащих полярный или неполярный компонент. С таким смешанным сорбентом после определения относительного удерживания всех компонентов смеси достаточно легко подбирать необходимую для полного разделения длину хроматографической колонки.

Объем удерживания сорбата на смешанной неподвижной фазе, которая состоит из компонентов А и В, может быть выражен через удельные объемы удерживания этого же сорбата на индивидуальных неподвижных фазах (удельный объем удер-

живания измеряют при температуре опыта):

$$V_N = \omega_a V_{ga}^T + \omega_b V_{gb}^T \quad (35)$$

Поскольку удельный объем удерживания сорбата на смешанной неподвижной фазе равен  $V_N/(\omega_a + \omega_b)$ , то

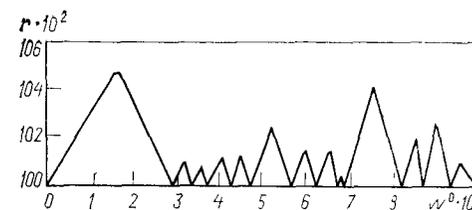
$$V_g^T = \omega_a^0 V_{ga}^T + \omega_b^0 V_{gb}^T \quad (36)$$

где  $\omega^0$  — массовая доля каждого из компонентов смешанной неподвижной фазы

Согласно последнему уравнению, удельный объем удерживания сорбата представляет собой линейную функцию состава смешанной неподвижной фазы, поэтому аналогичное линейное соотношение действительно для относительного удерживания и для других характеристик удерживания, например, для коэффициентов распределения.

Можно рекомендовать один из наиболее удачных, по нашему мнению, способов выбора состава смешанной неподвижной фазы для разделения компонентов интересующей аналитика смеси (Purnell J. H. — J. Chem. Soc., Anal. Div., 1979, № 1, p. 135—142). Согласно этому способу строят график зависимости удельного объема удерживания при температуре опыта от состава смешанной неподвижной фазы. График представляет собой набор пересекающихся и не пересекающихся прямых линий; естественно, что в точках пересечения двух линий относительное удерживание соответствующих сорбатов равно единице и при данном составе неподвижной фазы они не могут быть разделены. Задача состоит в том, чтобы подобрать такой состав неподвижной фазы, при котором не наблюдается неразделенных пар компонентов. Для этого по графику вычисляют (можно и при помощи компьютера) относительное удерживание всех компонентов смеси по парам, причем для удобства расчетов относительное удерживание рассчитывается так, чтобы оно было большим единицы. Для нахождения оптимального состава смешанной неподвижной фазы каждая точка, отвечающая смешанному сорбенту, характеризуется наименьшим для данного состава относительным удерживанием любой пары сорбатов (эффективность колонки должна быть такой, чтобы компоненты с минимальным относительным удерживанием были разделены). Строят график зависимости наименьшего значения относительного удерживания от состава смешанной неподвижной фазы; пример такого графика для смеси 29 углеводородов приведен на рис. 7. Точки, лежащие на оси абсцисс, показывают наличие неразделенных пар компонентов; соответствующий им состав смешанной неподвижной фазы не может быть признан подходящим для разделения данной смеси. С другой стороны, чем больше значение минимального относительного удерживания, тем меньшая эффективность колонки требуется для полного разделения компонентов смеси. Диаграмма, приведенная на рис. 7,

Рис. 7. Зависимость минимального относительного удерживания (для пары наиболее плохо разделяемых компонентов смеси) от содержания динилфталата в сквалане.



названа автором метода диаграммой окон. Состав смешанной неподвижной фазы выбирают по максимальной высоте «окна»; на рис. 7 такой состав соответствует 84% сквалана в смешанной неподвижной фазе.

Необходимая для разделения длина колонки задается требованиями к ее эффективности, определяемой количеством необходимых для полного разделения теоретических тарелок  $N$ :

$$N = 36 [r/(r - 1)]^2 \quad (37)$$

Это уравнение справедливо, если коэффициент емкости колонки по наиболее летучей паре компонентов превышает 10, а хроматографический пик обладает симметричной формой.

Таким образом, можно заменить многочисленные неподвижные фазы с промежуточной полярностью смесью двух неподвижных фаз экстремальной полярности. Конечно, в общем случае всегда будут наблюдаться некоторые различия в избирательности индивидуальной неподвижной фазы промежуточной полярности и смеси двух неподвижных фаз, поскольку индивидуальная неподвижная фаза обладает структурой жидкости, отличной от структуры компонентов смешанной неподвижной фазы; при этом возникают определенные различия в работе образования дырки, в энтропийной избирательности. Поэтому не следует ожидать совершенно точного моделирования индивидуального вещества смешанной неподвижной фазой, что имеет значение для разделения компонентов с незначительными различиями в удерживании. Однако в большинстве случаев смешанная неподвижная фаза с успехом заменяет индивидуальные вещества.

Варьирование полярности неподвижной фазы имеет значение при разделении пар соединений, которые различаются по полярности молекулы (опять-таки под полярностью молекулы следует понимать не эмпирическую величину, а концентрацию полярных функциональных групп или соотношение полярных и неполярных атомных групп в молекуле сорбата). Если же молекулы не различаются по полярности, то разделить их, варьируя полярность неподвижной фазы, невозможно. Например, трудно делимые  $m$ - и  $n$ -изомеры ксилола не различаются по полярности, для разделения таких геометрических изомеров необходимо использовать специфический класс неподвижных фаз, обладающих структурной избирательностью. Такие неподвиж-

Таблица II.14. Индексы Ковача органических соединений на смешанной неподвижной фазе: 1,2,3-трис(2-цианэтоксипропан (1) и сквалан (2)

Сорбат	1	2	3	4	5	6	7	8
Ацетон	425	558	632	672	744	827	1150	1247
Пропионовый альдегид	441	536	599	637	700	776	1076	1166
Кротоновый альдегид	576	717	789	832	904	988	1379	1496
Метилэтилкетон	529	629	693	732	800	885	1220	1325
Метиллиодид	507	554	593	614	650	718	967	1050
Этилбромид	562	544	574	575	629	690	933	1094
Хлороформ	585	646	682	706	719	798	1143	1231
1,1-Дифтортетрахлорэтан	673	685	693	701	717	738	927	997
Тетрахлорид углерода	653	681	685	691	716	755	981	1045
Этанол	376	540	629	672	749	840	1157	1253
<i>n</i> -Пропанол	478	628	704	739	813	891	1253	1358
Изопропанол	440	555	629	668	735	808	1137	1231
Аллиловый спирт	462	664	754	801	876	957	1347	1461
<i>трет</i> -Бутанол	470	564	619	656	763	839	1104	1193
Циклопентанол	714	824	907	950	1016	1097	1537	1669
Тиофен	650	712	745	775	829	901	1239	1340
2,4-Диметилпентан	632	644	627	629	629	630	605	604
2-Этилгексен-1	781	797	782	783	790	805	901	916
Циклогексан	673	689	675	680	688	706	798	830
Бензол	646	696	717	741	790	853	1158	1249
Толуол	755	797	809	829	871	931	1254	1353
Стирол	873	923	943	967	1017	1085	1481	1600
Фенилацетилен	831	894	950	990	1042	1115	1550	1676
Ацетонитрил	402	659	757	806	889	972	1364	1478
Нитроэтан	555	772	862	909	988	1074	1507	1635
Нитрометан	450	741	838	891	992	1060	1497	1610
Пиридин	692	813	878	922	968	1078	1480	1635
<i>n</i> -Дибутиловый эфир	857	870	867	868	876	893	1061	1115
<i>n</i> -Бутилацетат	746	794	818	842	891	957	1367	1411

Состав н. ф: 3 — 28% (1)+72% (2); 4 — 61% (1)+39% (2); 5 — 50% (1)+50% (2); 6 — трис. 7 — 74% (1)+26% (2); 8 — 86% (1)+14% (2). Носитель — хромсорб GAW DMCS, количество неподвижной фазы — от 3,5 до 7%. Температура колонки — 100 °С.

ные фазы должны обладать определенной пространственной структурой, позволяющей лучше взаимодействовать с одним из разделяемых изомеров. Как правило, подобные неподвижные фазы содержат ароматические кольца, которые «стопкой» укладываются в пространстве. Например, разделение тех же изомеров ксилола может быть достигнуто при использовании жидких кристаллов; молекула такого соединения имеет два жестко ориентированных в пространстве заместителя в *n*-положении, что позволяет оптимально взаимодействовать с ней *n*-изомеру ксилола; вследствие лучших пространственных условий для взаимодействия *n*-ксилол выходит после *m*-изомера. К сожалению, применение жидких кристаллов в качестве неподвижных фаз ограничено небольшим интервалом температур, в котором проявляются их селективные свойства; кроме того, имеются

сведения о нестабильности работы колонок с жидкими кристаллами во времени, особенно при высоких температурах. Гораздо большее применение как структурноизбирательные неподвижные фазы нашли два класса веществ: *m*-феноксиполиэфиры и фенилполисилоксаны. Промышленность выпускает полифениловый эфир, молекула которого содержит 5 или 6 колец, термостабильность таких неподвижных фаз обычно не выше 250 °С. Полифенилметилсилоксаны обладают большей термостойкостью (около 300 °С), причем термостойкость фенилметилполисилоксана снижается по мере возрастания в молекуле содержания фенильных групп. В качестве стандартных структурноизбирательных неподвижных фаз можно рекомендовать либо полифениловый эфир 6 колец, либо силикон OV-17.

Специфические условия должны быть реализованы при разделении веществ, образующих сильные водородные связи: спиртов, аминов, кислот. Для разделения спиртов целесообразно использовать неподвижные фазы, молекулы которых содержат определенное количество гидроксильных групп. Эти гидроксильные группы должны блокировать адсорбционные центры на поверхности носителя, которые могут образовывать водородные связи. Альтернативой является обработка поверхности носителя высокомолекулярным полиэтиленгликолем, как это указано в ч. I справочника. При разделении аминов этих предосторожностей недостаточно; обычно приходится обрабатывать щелочными агентами поверхность носителя, причем показано применение неподвижных фаз, молекулы которых содержат аминогруппы. И, наконец, при разделении свободных органических кислот желательнее обеспечить кислый характер сорбента; одной из широко применяемых для этой цели неподвижных фаз служит FFAP. Разделение на некоторых неподвижных фазах основано на комплексообразовании. К подобным неподвижным фазам относят растворы нитрата серебра в различных органических растворителях. Однако подобные комплексообразователи весьма чувствительны к условиям опыта и, в частности, к температуре.

Таким образом, в набор стандартных неподвижных фаз целесообразно включить такие соединения: неполярную и высокополярную неподвижные фазы, структурноизбирательную неподвижную фазу и ряд неподвижных фаз, необходимых для решения специфических задач. Приведенные выше значения избирательности большого числа полярных неподвижных фаз дают возможность оценить требуемую полярность смешанной неподвижной фазы для разделения интересующей аналитика смеси и только, если на смешанной неподвижной фазе не удастся получить положительных результатов, можно использовать индивидуальные неподвижные фазы промежуточной полярности.

В табл. II.14 даны индексы Ковача органических соединений на смешанной неподвижной фазе.

# Характеристики удерживания органических соединений различных классов

Таблица III.1. Амины и азотсодержащие гетероциклические сорбаты

А. 2,6-Динитро-4-трифторметил, 0-триметилсилильные производные аминов. Относительное удерживание при 100 °С (стандарт — фенилэтиламин)

Сорбат	SP-2250		
	OV-1 250 °С	220 °С	230 °С
Амфетамин	0,83	0,60	0,64
Бензиламин	0,75	0,70	0,71
Гистамин	2,17	4,64	4,28
Допамин	3,84	3,55	3,28
Метарамин	2,17	1,25	1,28
1-Метилгистамин	1,50	2,47	2,43
3-Метокситирамин	3,34	3,70	3,57
Норметанприн	3,84	3,05	2,85
Норэпринеприн	4,33	3,00	2,71
м-Октопамин	2,34	1,85	1,71
п-Октопамин	2,75	2,12	2,00
Серотонин	9,18	—	—
о-Тирамин	1,58	1,40	1,28
м-Тирамин	2,00	2,00	1,86
п-Тирамин	2,17	2,35	2,14
Триптамин	4,84	—	—
Фенилэтанолламин	1,34	1,00	1,00
Фенилпропаноламин	1,17	0,70	0,71
п-Хлорфенилэтанолламин	1,84	2,10	2,00

Примечание. Неподвижная фаза (3%) нанесена на супелкопорт. Doshi P. S., Edwards D. J. — J. Chromatogr., 1979, v. 176, N 3, p. 359—365.

Б. Вторичные изоалифатические и алициклические амины. Индексы Ковача при 100 °С

Сорбат	Апиезон L	Тритон X-305	ПЭГ-1000
Изопропилметиламин	542	703	770
Изопропилэтиламин	603	743	800
Изопропил-п-пропиламин	694	815	869
Изопропил-п-бутиламин	795	909	965
Изопропил-п-пентиламин	893	1007	1064
Изопропил-п-гексиламин	991	1104	1162
Изопропил-п-октиламин	1189	1300	1360
Изобутилметиламин	635	790	853
Изобутилетиламин	705	831	883
Изобутил-п-пропиламин	797	909	957
Изобутил-п-бутиламин	898	1004	1053
Изобутил-п-пентиламин	996	1104	1151

Сорбат	Апиезон L	Тритон X-305	ПЭГ-1000
Изобутил-п-гексиламин	1095	1203	1249
Изопентилметиламин	751	909	980
Изопентилэтиламин	821	955	1011
Изопентил-п-пропиламин	909	1036	1089
Изопентил-п-бутиламин	1006	1131	1187
Изопентил-п-пентиламин	1105	1230	1285
Изопентил-п-гексиламин	1203	1327	1383
втор-Бутилметиламин	652	796	859
втор-Бутилетиламин	704	821	878
втор-Бутил-п-пропиламин	795	898	949
втор-Бутил-п-бутиламин	892	998	1044
втор-Бутил-п-пентиламин	991	1097	1142
втор-Бутил-п-гексиламин	1090	1192	1238
втор-Бутил-п-гептиламин	1189	1291	1335
втор-Бутил-п-октиламин	1288	1390	1435
трет-Бутилметиламин	607	748	813
трет-Бутилетиламин	658	771	816
трет-Бутилпропиламин	744	843	884
трет-Бутил-п-бутиламин	839	937	979
трет-Бутил-п-пентиламин	937	1033	1076
трет-Бутил-п-гексиламин	1035	1133	1175
трет-Бутил-п-гептиламин	1134	1230	1273
трет-Бутил-п-октиламин	1233	1330	1371
Циклогексилметиламин	934	1127	1223
Циклогексилэтиламин	996	1157	1241
Циклогексил-п-пропиламин	1086	1233	1308
Циклогексил-п-бутиламин	1185	1329	1403
Циклогексил-п-пентиламин	1283	1426	1501
Циклопентилметиламин	828	1017	1116
Циклопентилэтиламин	891	1060	1144
Циклопентил-п-пропиламин	982	1139	1244
Аллил-п-пропиламин	738	914	995
Аллил-п-бутиламин	837	1016	1091
Аллил-п-пентиламин	937	1116	1183

Примечание. Условия опытов см. часть В. Головян Р. В. и др. — ЖАХ, 1981, т. 36, № 5, с. 742—749.

В. Изоалифатические амины и гетероциклические азотсодержащие основания. Индексы Ковача при 100 °С

Сорбат	Апиезон L	Амин-220	Тритон X-305	Полиэтилен-гликоль-1000
Изопропиламин	477	588	665	760
Изобутиламин	581	713	800	893
Изопентиламин	698	830	923	1011
Диизопропиламин	641	701	737	782
Диизобутиламин	849	896	933	971
Пиридин	734	918	1102	1227
2-Пиколин	811	974	1141	1259
3-Пиколин	856	1044	1210	1334
4-Пиколин	857	1050	1218	1342
2,4-Диметилпиридин	932	1103	1256	1375
2,2-Диметилпиридин	880	1018	1216	1285
4-Этилпиридин	958	1147	1304	1427

Сорбат	Апнезон L	Амин-220	Тритон X-305	Полиэтилен-гликоль-1000
Пирролидин	690	863	957	1065
Пиперидин	770	908	1003	1100
N Метилпиперидин	779	845	935	963
N-Этилпиперидин	858	913	972	1023

Примечание на хромосорб GAW нанесено 4% апнезона L с 1% гидроксида калия, 5% амина 220 с 0,5% фосфата натрия, 5% тритона X 305 с 0,5% фосфата натрия, 5% полиэтиленгликоля 1000 с 0,5% фосфата натрия  
Журавлева И. Л., Капустин Ю. П., Головач Р. В. — ЖАХ, 1976, т. 31, № 7, с. 1378-1385

## Г Вторичные амины. Индексы Ковача при 100 °С

Сорбат	Сквадан	Тритон X 305	Полиэтилен-гликоль 1000
Диизопропиламин	644	747	792
Ди-н-пропиламин	746	871	937
Ди-втор-бутиламин	837	916	948
Диизобутиламин	850	936	973
Диизопентиламин	1065	1184	1237
Диаллиламин	727	961	1047
Изопропилизобутиламин	746	844	876
Изопропил-трет-бутиламин	696	770	807
Изопропилизопентиламин	853	963	1010
Изобутил-втор-бутиламин	843	925	959
Изобутил-трет-бутиламин	787	859	889
Изобутилизопентиламин	957	1065	1103
Аллилизопентиламин	900	1071	1143
Циклогексизопропиламин	1022	1150	1218
Циклогексизобутиламин	1135	1253	1310
Циклогексизопентиленамин	1244	1381	1452
Метил-(1-метил-н-бутил)амин	738	884	948
Метил-(1-метил-н-пентил)амин	833	978	1047
Метил-(1-метил-н-гептил)амин	1033	1174	1245
Этил-(1-метил-н-пентил)амин	890	1037	1062
Этил-(1-метил-н-гептил)амин	1085	1230	1257
н-Пропил-(1-метил-н-пентил)амин	977	1089	1129
н-Пропил-(1-метил-н-гептил)амин	1170	1281	1322

Примечание на хромосорб GAW нанесено 4% апнезона L с 1% гидроксида калия, 5% тритона X 305 с 0,5% фосфата натрия, 5% полиэтиленгликоля 1000 с 0,5% фосфата натрия

Головач Р. В. и др. — ЖАХ 1982, т. 37, № 2 с. 291—298

Д н-Алифатические и неопределенные третичные амины  
Индексы Ковача при 100 °С

Сорбат	Апнезон L	Амин 220	Тритон X 305	ПЭГ 1000
Триметиламин	429	472	522	569
Диэтилметиламин	605	651	683	735
Дипропилметиламин	765	798	825	848
Дибутилметиламин	948	979	1038	1030
Дипентилметиламин	1136	1166	1193	1216
Дигексилметиламин	—	1355	1381	1403

Сорбат	Апнезон I	Амин 220	Тритон X-305	ПЭГ-1000
Диметилэтиламин	516	564	610	653
Триэтиламин	672	717	747	776
Дипропилэтиламин	836	859	879	903
Дибутилэтиламин	1014	1037	1056	1077
Дипентилэтиламин	1196	1217	1239	1254
Диметилпропиламин	597	641	686	722
Диэтилпропиламин	751	787	809	840
Трипропиламин	915	936	951	964
Дибутилпропиламин	1088	1106	1123	1136
Дипентилпропиламин	1263	1283	1301	1311
Диметилбутиламин	696	739	781	816
Диэтилбутиламин	846	879	903	931
Дипропилбутиламин	1001	1022	1039	1051
Трибутиламин	1171	1191	1209	1223
Дипентилбутиламин	1345	1364	1382	1391
Диметилпентиламин	795	840	878	915
Диэтилпентиламин	941	973	997	1024
Дипропилпентиламин	1093	1112	1129	1141
Дибутилпентиламин	1259	1278	1296	1305
Трипентиламин	1427	1452	1472	1477
Диэтилаллиламин	751	796	852	890
Диэтилпропаргиламин	757	858	1001	1073
Дипропилаллиламин	906	940	894	1010
Дипропилпропаргиламин	916	1032	1132	1194

Примечание На хромосорб GAW нанесено 4% апнезона L с 1% гидроксида калия, 5% тритона X-305 с 0,5% фосфата натрия, 5% полиэтиленгликоля 1000 с 0,5% фосфата натрия и 5% амина 220 с 0,5% фосфата натрия  
Журавлева И. Л. и др. — ЖАХ, 1981, т. 36, № 7, с. 968—973

Е Алкилпиридины. Относительное удерживание при 120 °С  
(стандарт — 2-метил-5-этилпиридин)

Сорбат	1	2
2-Пропил-5-этилпиридин	2,06	2,02
3-Этил-4-метилпиридин	2,06	2,25
2-Метил-5-изопропенилпиридин	2,25	2,25
3,5-Диэтилпиридин	2,25	2,57
3-Винил-4-метилпиридин	2,44	2,57
2-Метил-5-бутилпиридин	2,60	2,79
2-Метил-3,5-диэтилпиридин	2,85	3,25
2-н-Пропил-5-винилпиридин	3,03	2,92
2-Метил-5(пропен-1-ил)пиридин	3,29	3,50
3-Этил-5-винилпиридин	3,29	3,50
2-Метил-5(бутен-2-ил)пиридин	3,45	3,68
2-Метил-3,5(этил-винил)пиридин	3,45	3,68
3,5-Дивинилпиридин	4,82	4,36
2-Метил-5(бутен-1-ил)пиридин	4,82	5,05
2-Метил-3,5-дивинилпиридин	5,10	4,75
2(Пропен 1-ил) 5-этилпиридин	5,10	5,20

Примечание Носитель огнеупорный кирпич Инз 600, пропитанный 2% гидроксида калия Сорбенты 1 — 10% полиэтиленгликоля-1000; 2 — 6% твина и 5% бензидина.  
Панков А. Г. и др. — ЖПХ, 1975, т. 48, № 4, с. 598—602.

Неподвижная фаза	Температура	Сорбат												
		II	2M	3M	4M	2,6M	2,5M	2,4M	3,2M	3,5M	3,4M	3E	4E	2,4,6M
Динонилсебацнат	90	813	881	930	932	942	996	999	1013	1050	1075	1023	1028	944
	100	815	883	933	934	944	998	1002	1016	1054	1079	1026	1031	945
	110	817	885	936	937	945	1000	1004	1020	1059	1085	1030	1035	947
	120	819	887	938	940	946	1003	1007	1023	1063	1089	1033	1039	948
	90	826	894	945	948	951	1010	1014	1026	1064	1091	1036	1041	953
	100	828	895	947	950	953	1012	1016	1029	1067	1094	1039	1044	954
	110	830	897	949	953	954	1014	1019	1032	1070	1098	1042	1047	956
	120	831	899	951	956	955	1016	1021	1034	1073	1102	1044	1050	957
	90	837	906	958	962	963	1023	1025	1040	1077	1107	1050	1053	962
	100	838	907	959	964	964	1025	1027	1042	1079	1119	1051	1055	963
Дигептилфталат	110	840	909	961	966	965	1026	1029	1044	1082	1113	1055	1057	964
	120	841	910	962	967	967	1028	1030	1046	1084	1116	1056	1061	975
	90	880	939	998	1004	994	1057	1060	1070	1116	1149	1088	1095	993
	100	881	940	999	1005	995	1058	1061	1071	1117	1150	1089	1097	994
	110	882	941	1000	1007	996	1059	1063	1073	1119	1152	1091	1098	995
	120	884	943	1002	1008	997	1061	1064	1074	1121	1154	1092	1100	996
	90	1082	1134	1210	1220	1180	1261	1269	1288	1341	1391	1305	1320	1181
	100	1084	1136	1213	1223	1182	1263	1272	1291	1344	1394	1307	1323	1183
	110	1087	1138	1215	1226	1184	1265	1274	1294	1348	1398	1310	1326	1185
	120	1090	1141	1217	1229	1186	1268	1277	1297	1351	1402	1314	1330	1186
Дибензилсебацнат	90	869	927	993	997	979	1048	1056	1071	1118	1154	1084	1089	979
	100	872	929	995	1000	981	1050	1058	1074	1121	1157	1086	1092	981
	110	874	931	998	1002	983	1052	1061	1077	1124	1161	1089	1095	982
	120	876	933	1000	1005	985	1055	1063	1079	1127	1164	1092	1098	984
	90	1095	1146	1228	1233	1185	1270	1288	1297	1359	1399	1321	1335	1185
	100	1097	1147	1230	1235	1186	1272	1290	1299	1362	1402	1323	1338	1186
	110	1098	1149	1231	1237	1187	1273	1292	1301	1365	1405	1325	1347	1187
	120	1099	1150	1233	1238	1189	1275	1294	1304	1367	1408	1328	1343	1189

Примечание. П — пиридин, 2M — 2-метилпиридин, 3M — 3-метилпиридин, 4M — 4-метилпиридин, 2,6M — 2,6-диметилпиридин, 2,5M — 2,5-диметилпиридин, 2,4M — 2,4-диметилпиридин, 3,2M — 3,2-диметилпиридин, 3,5M — 3,5-диметилпиридин, 3,4M — 3,4-диметилпиридин, 3E — 3-этилпиридин, 4E — 4-этилпиридин, 2,4,6M — 2,4,6-триметилпиридин.  
Неподвижная фаза (30%) нанесена на хроматон N AW HMDS M — положение метильной группы, E — этильной. *Nabivac* V M, Ven *cer* I — J Chromatogr., 1977, v. 144, N 1, p. 118—129.

## 3. Алкилпиридины. Индексы Ковача

Сорбат	Тетракозан			Дотриаконтан			Алиэзон L		
	100 °C	110 °C	120 °C	100 °C	110 °C	120 °C	10 дl/дг	120 °C	
Пиридин	690	695	697	3,5	709	713	715	3,0	749
2-Метилпиридин	773	775	779	2,0	789	791	794	2,5	822
3-Метилпиридин	810	813	816	3,0	828	831	834	3,0	870
4-Метилпиридин	811	813	817	3,0	829	832	834	2,5	873
2,3-Диметилпиридин	901	905	908	3,5	919	923	924	2,5	958
2,4-Диметилпиридин	892	894	896	2,0	908	911	912	2,0	940
2,5-Диметилпиридин	888	893	895	4,0	907	910	911	2,0	939
2,6-Диметилпиридин	848	850	852	2,0	862	864	866	2,0	887
3,4-Диметилпиридин	950	952	956	3,0	968	974	975	3,5	1018
3,5-Диметилпиридин	930	932	936	3,0	948	952	953	2,5	994
2-Этилпиридин	861	863	866	2,5	875	878	881	3,0	906
3-Этилпиридин	909	911	913	2,0	923	927	929	3,0	963
4-Этилпиридин	912	913	915	1,5	925	930	931	3,0	970
2,4,6-Триметилпиридин	959	961	963	2,0	975	978	980	2,5	1002
Бензол	649	651	653	2,0	655	657	658	2,0	691
Циклогексан	671	673	675	2,0	675	677	678	1,5	664

Примечание. 30% тетракозана и дотриаконтана нанесено на хроматон N AW HMDS 20% алиэзона L, нанесено на целит 545, обработанный мелочью.  
*Nabivac* V M, *Дистриков* В II — ЖАХ, 1979, т. 34, № 12, с. 2412—2420.



Продолжение табл. III.3

Неподвижная фаза	Изомер				
	1	2	3	4	5
Сквалан	1,92	2,29	2,29	2,63	4,13
Смесь бентона-34 с динизодецилфталатом (1:1)	1,52	1,75	2,43	2,43	2,79
2,4,7-Тринитрофлуорепон	1,93	2,13	2,46	2,86	4,06
Тритон X-100	1,75	2,08	2,08	2,33	3,25

Изомеры: 1 — 2,5-диметилнитробензол; 2 — 2,3-диметилнитробензол; 3 — 2,4-диметилнитробензол; 4 — 3,5-диметилнитробензол; 5 — 3,4-диметилнитробензол.  
 Примечание. На носитель — огнеупорный кирпич сил-о-сел — нанесены неподвижные фазы: смешанная фаза — 4,4'-метоксиазоксибензол — 3%; 2,4,7-тринитрофлуорепон — 15%, остальные — 20%. Температура — 140 °С.

Б. Нитропарафины. Индексы Ковача

Сорбат	Силикон SF-96			Усон В-550Х		
	90 °С	100 °С	110 °С	90 °С	100 °С	110 °С
Нитрометан	565	565	565	770	770	770
Нитроэтан	634	638	638	824	824	824
1-Нитропропан	723	724	724	897	894	897
2-Нитропропан	683	686	686	839	839	842
1-Нитробутан	822	824	824	989	990	992
2-Нитробутан	774	776	776	919	920	923
2-Метил-1-нитропропан	774	776	776	931	934	934

Сорбат	Твин-80			Карбовакс 20М			Реоплекс 400		
	90 °С	100 °С	110 °С	90 °С	100 °С	110 °С	90 °С	100 °С	110 °С
Нитрометан	986	990	993	1132	1150	1150	1134	1140	1165
Нитроэтан	1009	1014	1018	1132	1150	1150	1155	1164	1190
1-Нитропропан	1044	1072	1077	1186	1204	1204	1225	1225	1251
2-Нитропропан	994	1001	1006	1095	1115	1115	1134	1140	1165
1-Нитробутан	1150	1159	1164	1275	1285	1290	1315	1325	1347
2-Нитробутан	1064	1072	1077	1161	1182	1182	1198	1211	1238
2-Метил-1-нитропропан	1083	1091	1096	1230	1232	1234	1228	1245	1265

Примечание. Неподвижная фаза (10%) нанесена на хромсорб В. Бонеев С., Димов Н. — ЖАХ, 1979, т. 34, № 6, с. 1170—1179.

В. Акрилонитрилы. Индексы Ковача на силиконе ДС-550

Сорбат	Индекс	Сорбат	Индекс
Акрилонитрил	605	α-Пропилакрилонитрил	815
Метакрилонитрил	638	α-Метил-β-этилакрилонитрил, транс	842
Тиглонитрил, цис	646		
α-Этилакрилонитрил	653	α-Метил-β-пропилакрилонитрил, цис	856
Ангеликонитрил, транс	688		
α-Метил-β-этилакрилонитрил, цис	693	α-Бутилакрилонитрил	867
		α-Метил-β-пропилакрилонитрил, транс	891

Примечание. Силикон ДС-550 (15%) нанесен на целит С-22, температура 70 °С. Кязимова Г. П., Мехтев С. И., Мамедов Р. Г. — ЖАХ, 1975, т. 30, № 5, с. 1039—1038.

Таблица III.4. Сероорганические соединения

А. Меркаптаны и сульфиды. Относительное удерживание (стандарт — диэтилсульфид)

Сорбат	ТЦЭП			ТКФ			ПФЭ		
	50 °С	75 °С	95 °С	50 °С	75 °С	95 °С	40 °С	75 °С	95 °С
Метилмеркаптан	0,29	0,38	0,49	0,13	0,19	0,25	0,17	0,24	0,36
Этилмеркаптан	0,38	0,47	0,57	0,23	0,27	0,35	0,23	0,32	0,55
n-Пропилмеркаптан	0,63	0,69	0,77	0,53	0,54	0,60	0,53	0,57	0,65
Изопропилмеркаптан	0,40	0,49	0,57	0,31	0,35	0,42	0,30	0,39	0,50
Винилметилмеркаптан	0,91	0,95	0,98	0,56	0,59	0,65	0,54	0,60	0,69
n-Бутилмеркаптан	1,08	1,08	1,07	1,26	1,15	1,15	1,24	1,15	1,14
Изобутилмеркаптан	0,78	0,84	0,87	0,87	0,82	0,87	0,83	0,85	0,90
втор-Бутилмеркаптан	0,71	0,75	0,81	0,81	0,74	0,80	0,73	0,77	0,88
трет-Бутилмеркаптан	0,38	0,47	0,53	0,40	0,39	0,46	0,35	0,47	0,57
n-Пентилмеркаптан	1,85	1,72	1,56	2,79	2,46	2,23	2,78	2,41	2,21
втор-Пентилмеркаптан	1,07	1,10	1,08	1,45	1,40	1,37	1,43	1,38	1,37
трет-Пентилмеркаптан	0,77	0,82	0,85	1,00	0,97	1,00	0,96	0,98	1,00
n-Гексилмеркаптан	3,26	2,78	2,39	—	5,28	4,40	6,78	5,43	4,43
n-Гептилмеркаптан	5,90	4,53	3,66	—	—	8,74	—	11,90	8,88
Сероуглерод	0,25	0,35	0,46	0,27	0,36	0,43	0,37	0,44	0,53
Диметилсульфид	0,45	0,54	0,64	0,25	0,32	0,39	0,27	0,35	0,47
Метилэтилсульфид	0,71	0,76	0,82	0,51	0,55	0,52	0,55	0,59	0,72
Диэтилсульфид	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ди(винилметил)сульфид	4,75	3,92	3,32	—	4,00	3,53	5,00	4,07	3,60
Ди-n-пропилсульфид	2,44	2,09	1,86	—	3,77	3,26	4,93	3,84	3,09
Динизопропилсульфид	1,10	1,07	1,04	1,73	1,57	1,54	1,59	1,55	1,45
Метил-n-бутилсульфид	1,85	1,76	1,58	2,58	2,28	2,08	2,38	2,30	2,01
Этил-n-бутилсульфид	2,78	2,31	1,99	—	3,95	3,36	4,43	3,97	3,20
Ди-n-бутилсульфид	7,22	5,30	4,18	—	—	12,00	—	17,00	11,60
Динизобутилсульфид	3,03	2,48	2,16	—	—	5,52	—	7,23	5,37
Ди-втор-бутилсульфид	2,92	2,36	2,04	—	6,48	5,28	7,33	6,50	4,88
Ди-трет-бутилсульфид	1,74	1,62	1,44	—	3,52	3,09	3,92	3,49	2,91
Диметилдисульфид	3,00	2,75	2,49	2,34	2,15	2,07	2,04	1,94	1,80
Диэтилсульфид	6,47	5,23	4,33	—	7,30	6,03	8,26	6,75	5,20
СОS (сероксид углерода)	0,11	0,18	0,28	0,05	0,09	0,14	0,09	0,15	0,25
Тиофен	2,16	2,05	1,87	1,26	1,25	1,25	1,13	1,15	1,17

Сорбенты. 25% 1,2,3-трис(2-цианэтокси) пропана на шималите AW DMCS (ТЦЭП); 2% трикрезилфосфата на шималите (ТКФ); 10% полифенилового эфира на шималите ТРА.

Hoshika V. e. a. Bunseki Kagaku, 1975, v. 24, N 3. p. 401—410.

Б. Сильфиды. Относительное удерживание (стандарт — тиофан).

Б.1.

Сорбат	Дибензилсульфон			Дидецилсульфон			Дибутилсульфон			5,6-Бенздиоксипионин			Дифениламин	
	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	130 °C	140 °C
	Диметилсульфид	0,33	0	0,094	0,07	0,20	0,18	0,33	0,047	0,09	0,14	0,128	—	—
Диэтилсульфид	0,66	—	0,312	0,40	0,427	0,36	0,58	0,095	0,35	0,43	0,25	—	—	—
Дипропилсульфид	1,83	—	1,45	1,30	1,265	1,60	1,66	0,30	1,00	1,07	0,36	—	—	—
Дибутилсульфид	7,10	—	6,20	4,10	3,96	6,08	5,00	1,00	3,50	3,21	4,08	—	—	—
Диэтилсульфид	—	—	—	—	10,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Метилпропилсульфид	0,33	—	0,29	0,316	0,36	0,67	0,60	0,24	0,27	0,28	0,46	0,29	—	—
Диизопропилсульфид	1,00	0,75	0,63	0,63	0,66	1,00	1,00	0,48	0,48	0,71	0,68	0,57	—	—
Диизобутилсульфид	4,00	3,13	2,34	2,32	2,14	1,67	4,00	1,84	1,67	2,28	1,89	1,43	—	—
Бутилэтилсульфид	10,78	7,75	—	6,12	5,20	10,4	11,65	5,60	4,60	5,72	2,20	4,20	—	—
Диизопентилсульфид	16,15	19,60	—	8,70	7,24	—	—	7,85	6,55	10,00	5,15	6,43	—	—
Тиофан	0,50	0,454	0,38	0,40	0,454	0,42	0,50	0,36	0,36	0,36	0,25	0,43	—	—
2-Пропилтиофан	2,36	1,82	2,88	2,35	2,14	2,86	2,00	2,34	2,10	2,14	1,64	1,86	—	—
3-Пропилтиофан	2,36	1,82	3,20	2,60	2,34	2,86	2,00	2,74	2,50	2,14	1,64	1,86	—	—
2-Бутилтиофан	4,64	3,18	5,70	4,42	3,74	5,15	3,40	4,76	4,20	3,43	3,12	7,45	—	—
3-Гексилтиофан	20,0	10,9	—	15,9	12,45	9,15	11,5	—	—	11,8	—	—	—	—
Диметилсульфид	0,715	0,70	0,658	—	—	0,50	0,67	0,68	0,61	0,62	0,57	0,57	—	—
Диэтилсульфид	2,14	1,50	2,03	1,70	1,78	2,00	1,66	2,00	1,84	1,66	1,71	1,57	—	—
Диизобутилсульфид	14,3	9,90	5,65	9,00	8,22	12,5	10,0	—	8,34	7,20	6,00	4,30	—	—
Дибутилсульфид	24,6	15,0	—	21,1	—	—	—	—	17,7	—	7,84	5,45	—	—
2-5-Диметилтиофан	1,67	2,00	1,51	1,40	1,36	—	—	1,30	1,23	1,33	—	—	—	—
2-Этилтиофан	2,67	3,50	2,51	2,30	2,31	—	—	2,32	2,16	1,80	—	—	—	—
2-Метил-5-этилтиофан	2,67	3,50	—	2,30	2,31	—	—	9,20	3,24	3,46	—	—	—	—
3-(2-Метилпропил) тиофан	5,00	—	—	4,00	3,68	—	—	4,38	3,85	5,34	—	—	—	—
3-Бутилтиофан	12,3	11,0	—	7,50	6,51	—	—	9,50	7,40	7,00	—	—	—	—
3-(3-Метилбутил) тиофан	12,3	11,8	—	10,0	9,30	—	—	—	10,76	—	—	—	—	—
Фенилэтилсульфид	8,67	8,50	—	14,0	15,30	—	—	—	13,80	—	—	—	—	—
Фенилпропилсульфид	11,65	16,5	9,10	6,90	7,25	8,50	5,60	—	9,20	5,92	—	—	—	—
Фенилпропилсульфид	21,3	34,0	—	15,8	16,2	—	—	—	20,2	12,85	—	—	—	—
Фенилбутилсульфид	—	41,0	—	—	27,7	—	—	—	21,1	21,1	—	—	—	—

Б.2.

Сорбат	β,β'-Иминодипро- леонитрил			β,β'-Тиолидопро- нитрил			Эфир триэтилглицероля и н-масляной кислоты			Этилглицероль- адицинат			Трифенил- фосфат	
	80 °C	100 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	140 °C
	Диметилсульфид	0,04	0,05	0,13	0,12	—	—	0,27	0,07	0,09	0,07	0,01	0,05	0,05
Диэтилсульфид	0,22	0,28	0,29	0,25	—	—	0,32	0,40	0,31	0,036	0,50	0,30	0,30	1,00
Дипропилсульфид	0,62	0,63	0,67	0,50	—	—	1,14	1,21	0,95	0,86	1,00	1,00	1,00	3,70
Дибутилсульфид	1,87	1,84	2,00	2,00	—	—	4,20	3,93	3,56	3,22	2,76	3,70	3,70	9,35
Диэтилсульфид	—	—	6,15	—	—	—	—	—	0,36	0,35	0,37	0,35	0,35	0,52
Метилпропилсульфид	0,22	0,20	0,13	0,37	0,60	0,34	0,30	0,34	0,68	0,74	0,62	0,52	0,52	1,83
Диизопропилсульфид	0,28	0,33	0,37	1,00	1,00	0,62	0,62	0,61	2,32	1,38	1,75	1,83	1,83	5,20
Диизобутилсульфид	2,44	1,58	2,94	1,50	2,85	2,63	2,20	1,86	7,05	5,40	4,50	5,20	5,20	7,40
Бутилэтилсульфид	3,25	2,34	4,27	2,50	7,00	7,55	5,67	4,73	6,66	8,00	—	7,40	7,40	10,34
Диизопентилсульфид	—	3,24	—	3,12	11,1	10,85	7,92	6,66	—	—	—	—	—	—
Тиофан	0,45	0,50	0,33	0,37	0,44	0,42	0,57	0,43	0,41	0,46	0,50	0,34	0,34	2,23
2-Пропилтиофан	1,72	1,58	1,40	1,25	1,37	2,64	2,14	1,77	1,95	1,86	1,87	2,23	2,23	4,48
3-Пропилтиофан	2,10	1,83	1,53	1,37	1,37	3,02	2,74	1,77	2,30	2,15	2,00	2,48	2,48	4,30
2-Бутилтиофан	3,12	2,67	2,34	1,87	2,50	5,24	4,51	3,67	3,70	3,22	2,96	4,30	4,30	7,20
3-1-гексилтиофан	—	8,42	—	5,75	7,30	22,6	17,6	12,5	—	—	—	—	—	—
Диметилсульфид	0,64	0,69	0,17	0,50	0,77	0,57	0,72	—	0,53	0,71	0,75	—	—	—
Диэтилсульфид	1,36	1,38	1,33	1,12	2,30	1,86	2,12	—	1,47	1,72	1,50	—	—	—
Диизобутилсульфид	4,95	4,40	4,33	3,75	11,9	3,75	10,3	—	—	—	—	—	—	—
Дибутилсульфид	8,54	8,54	8,80	6,50	21,1	—	17,6	—	—	—	—	—	—	—
2-Этилтиофан	—	1,07	1,53	1,00	1,38	1,41	1,41	1,23	1,00	—	—	—	—	—
2-5-Диметилтиофан	—	1,55	2,27	1,62	2,30	2,38	2,27	2,33	1,28	—	—	—	—	—
2-Пропилтиофан	—	1,55	1,53	1,00	1,38	2,59	2,58	2,33	2,14	—	—	—	—	—
3-(2-Метилпропил) тиофан	—	2,50	2,54	2,50	5,00	3,87	—	—	2,32	—	—	—	—	—
3-Бутилтиофан	—	4,31	4,65	4,50	7,54	4,45	7,50	7,17	—	—	—	—	—	—
3-(3-Метилбутил) тиофан	—	5,78	6,00	5,79	9,00	9,64	9,85	8,84	—	—	—	—	—	—
Фенилэтилсульфид	—	7,33	8,15	6,40	17,7	11,8	14,2	12,6	—	—	—	—	—	—
Фенилпропилсульфид	—	11,1	—	6,40	7,20	9,33	6,33	6,33	—	—	—	—	—	—
Фенилбутилсульфид	—	16,4	—	9,25	8,00	—	12,1	8,16	—	—	—	—	—	—
Фенилпропилсульфид	—	25,5	—	14,0	11,6	—	21,0	13,3	—	—	—	—	—	—
Фенилбутилсульфид	—	62,7	—	17,5	17,6	—	35,1	22,2	—	—	—	—	—	—

Примечание. Испытываемая фаза (10%) нанесена на инертный киллинг. Оболочка Р. Д. и др. — В сб. «Газовая хроматография», М., НИИТЭХим, 1965, вып. 3, с. 14-25.

В. Сульфиды. Индексы Ковача при 130 °С

Сорбат	Аписезон М	OV-17	Тритон X-305	Полиэтилен-гликоль-1000
Тиопропан-2	523	611	710	774
Тиобутан-2	616	705	800	859
Тиопентан-2	715	802	897	951
Тиогексан-2	815	903	996	1051
Тиогептан-2	916	1005	1096	1151
Тиооктан-2	1016	1106	1197	1251
Тиононан-2	1117	1207	1297	1352
Тиодекан-2	1217	1308	1398	1453
Тиоундекан-2	1318	1408	1499	1554
Тиододекан-2	1419	1509	1599	1656
Тиотридекан-2	1520	1609	1699	1757
Тиотетрадекан-2	1620	1710	1800	1858
Тиопентан-3	698	788	875	927
Тиогексан-3	794	882	962	1017
Тиогептан-3	893	979	1061	1113
Тиооктан-3	992	1079	1159	1212
Тиононан-3	1092	1180	1259	1311
Тиодекан-3	1193	1281	1360	1411
Тиоундекан-3	1293	1381	1460	1510
Тиододекан-3	1393	1481	1561	1610
Тиотридекан-3	1493	1581	1661	1710
Тиогептан-4	888	974	1051	1101
Тиооктан-4	985	1070	1146	1196
Тиононан-4	1083	1169	1244	1294
Тиодекан-4	1182	1269	1342	1393
Тиоундекан-4	1282	1368	1442	1492
Тиододекан-4	1382	1468	1542	1592
Тиотридекан-4	1481	1568	1643	1692
Тиононан-5	1081	1167	1241	1289
Тиодекан-5	1179	1266	1338	1387
Тиоундекан-5	1278	1365	1436	1485
Тиододекан-5	1378	1464	1535	1584
Тиотридекан-5	1477	1563	1636	1684
Тиоундекан-6	1276	1363	1435	1483
Тиододекан-6	1375	1461	1532	1581
Тиотридекан-6	1475	1560	1631	1681
Тиотетрадекан-6	1574	1660	1731	1781
Тиотридекан-7	1473	1559	1630	1678

Примечание. Неподвижные фазы (5%) нанесены на хромосорб W AW DMCS. Голова Р. В., Гарбузов В. Г., Мишарина Т. А. — Изв. АН СССР, сер. хим., 1976, № 10, с. 2266—2273.

Таблица III.5. Спирты алифатические

А. Удельные объемы удерживания на полиэтиленгликолях (100 °С)

Сорбат	Полиэтиленгликоли м. в.		
	400	1000	20000
Метанол	36,1	28,4	22,8
Этанол	44,6	35,6	27,9
Пропанол-1	79,9	64,7	53,3
Бутанол-1	147,1	123,7	100,2
Пентанол-1	269,2	231,8	186,0
Гексанол-1	485,7	427,0	341,0
Гептанол-1	862,6	765,0	621,7
Октанол-1	1514	1360	1123
Нонанол-1	2630	2336	2012
Изопропанол	40,9	32,7	26,1
Бутанол-2	72,0	59,0	48,4
Пентанол-2	125,8	106,2	86,6
Гексанол-2	220,0	189,0	154,5
Гептанол-2	386	336	273,0
Октанол-2	674	594	482
Пентанол-3	112,3	95,0	79,5
Октанол-3	600	539	440
Гептанол-4	308	274	232
2-Метилпропанол-1	103,7	88	72,5
2-Метилпропанол-2	34,3	28,2	22,5
2-Метилбутанол-1	203,0	175,2	145,0
3-Метилбутанол-1	210,5	180,1	145,8
2-Метилбутанол-2	64,6	53,9	45,3
3-Метилбутанол-2	101,7	85,4	73,3
2,2-Диметилпропанол-1	108,0	95,2	80,0
2-Метилпентанол-1	343,0	309,0	262,5
3-Метилпентанол-1	412,0	365,0	305,7
4-Метилпентанол-1	383,0	340,0	286,1
2-Метилпентанол-2	108,0	91,8	77,2
3-Метилпентанол-2	180,0	159,0	133,6
4-Метилпентанол-2	160,0	137,0	112,7
2-Метилпентанол-3	142,5	128,0	108,2
3-Метилпентанол-3	116,0	101,0	85,0
2,2-Диметилбутанол-1	228,0	207,0	178,9
3,3-Диметилбутанол-2	113,0	102,0	89,1
2,3-Диметилбутанол-2	97,0	86,0	73,8
2-Этилбутанол-1	356,0	316,0	262,6
2-Метилгексанол-1	579	556	474,0
2-Метилгексанол-2	180,0	162,0	131,0

Примечание. Неподвижная фаза (20%) нанесена на обработанный диметилдихлорсиланом хромосорб W AW.

Castello G., d'Amato G. — J. Chromatogr., 1977, v. 131, N 1, p. 41—55; Castello G., d'Amato G., Munari S. — J. Chromatogr., 1978, v. 150, p. 319—331.

Б. Спирты и их бензойные эфиры. Индексы Ковача

Сорбат	SE-30			OV-3		
	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C
Метанол	373	—	—	—	—	—
Этанол	439	—	—	—	—	—
Пропанол-1	544	—	—	574	—	—
Бутанол-1	650	643	643	672	667	667
Пентанол-1	751	747	746	777	779	778
Гексанол-1	856	853	850	881	882	882
Гептанол-1	960	958	946	985	984	984
Октанол-1	1064	1058	1060	1087	1086	1086
Нонанол-1	1166	1160	1162	1189	1187	1187
Деканол-1	1264	1262	1264	—	—	—
Изопропанол	477	—	—	—	—	—
Бутанол-2	586	584	586	607	604	608
Пентанол-2	689	685	685	711	706	708
Гексанол-2	787	786	783	811	808	806
Гептанол-2	889	888	886	915	912	910
Нонанол-2	1091	1087	1089	1115	1114	1115
Пентанол-3	689	685	685	711	706	708
Гексанол-3	785	783	783	807	808	806
Гептанол-3	886	885	886	909	908	908
Гептанол-4	880	877	879	904	903	902
Октанол-4	982	976	978	1005	1004	1003
2-Метилпропанол-1	612	—	—	641	—	—
2-Метилбутанол-1	727	726	724	—	—	—
2-Метилпентанол-1	824	822	820	849	846	844
2-Метилбутанол-2	628	—	—	652	649	646
2-Метилпентанол-2	720	716	720	748	742	741
2-Метилгексанол-2	822	817	818	848	842	841
2-Метилгептанол-2	920	919	920	944	942	942
2-Метилгексанол-3	858	852	854	876	877	880
3-Метилбутанол-1	725	719	719	747	744	742
4-Метилпентанол-1	827	823	821	849	848	845
2-Этилбутанол-1	834	828	833	857	855	855
2-Этилгексанол-1	1019	1015	1017	1046	1043	1045
3-Этилпентанол-3	853	847	—	876	878	879
2,2-Диметилпентанол-3	814	815	817	834	837	838
2,2-Диметилгексанол-3	906	906	907	926	927	928
Пентен-1-ол-3	675	670	664	—	—	—
Гексен-1-ол-3	771	770	767	791	791	788
Гептен-1-ол-3	872	871	869	894	894	894
Октен-1-ол-3	972	972	968	995	995	996
Бутен-2-ол-1	664	657	653	684	682	680
Гексен-3-ол-1	850	851	—	876	876	879
Гептен-3-ол-1	941	941	—	969	969	968
2-Метилбутен-3-ол-2	606	592	—	620	614	619
3-Метилбутен-3-ол-1	730	—	—	751	751	750
2-Метилгептен-1-ол-3	961	959	—	986	986	986
Бензойные эфиры спир- тов:						
Метанол	1081	1087	1092	1129	—	1141
Этанол	1152	1157	1164	—	1212	1239
n-Пропанол	1245	1254	1262	1295	—	1309
n-Бутанол	1344	1352	1358	—	—	1404
n-Пентанол	1440	1447	1456	—	—	1503
n-Гексанол	1535	1549	1556	—	—	1604
n-Гептанол	1638	1646	1654	—	1698	1702

OV-7			OV-11			OV-17			OV-25		
100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
702	696	702	725	726	—	748	748	744	792	790	788
806	803	804	—	—	835	856	855	855	900	898	900
907	908	907	935	934	935	959	960	960	1003	1003	—
1010	1011	1010	1038	1037	1038	1062	1062	1062	1104	1104	1109
1112	1112	1112	1139	1140	1139	1165	—	—	—	—	1208
—	1213	1214	—	—	—	1268	—	—	1303	1308	1313
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1413
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
633	629	629	656	654	—	675	674	673	711	708	—
736	733	736	756	758	—	777	777	774	811	809	806
835	832	—	—	—	858	878	877	875	914	911	910
—	935	935	—	—	960	982	—	—	1006	1013	1015
1137	1137	1137	1160	1159	1158	1183	1182	—	808	804	—
736	733	736	756	758	—	777	777	774	904	901	900
830	827	831	853	851	—	878	877	875	1008	1007	1009
929	932	935	955	952	—	975	975	972	999	998	999
924	925	924	946	946	945	966	966	965	—	—	—
1024	1025	—	—	—	—	—	—	—	740	739	740
654	650	648	—	—	680	680	704	699	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	958	958	—
871	870	870	—	—	898	917	918	917	738	735	733
674	673	669	692	690	—	709	712	704	827	826	826
767	763	764	—	—	782	801	804	796	930	918	926
862	863	859	884	882	877	904	902	898	1026	1024	—
961	962	962	982	981	882	1001	1001	—	969	970	968
897	898	898	920	919	—	939	940	938	855	851	852
771	766	770	798	793	798	817	820	817	960	958	960
876	874	872	902	899	988	923	922	920	—	971	—
—	880	882	907	905	—	928	—	—	1156	1156	1162
1067	1068	1069	1092	1092	1094	1116	1117	—	974	974	979
898	899	903	920	922	—	939	946	946	919	920	923
855	857	858	874	876	—	890	892	894	1004	1003	—
944	944	947	962	—	966	977	983	982	807	807	—
715	715	714	—	—	—	—	—	—	—	—	—
818	816	842	843	847	864	864	862	—	901	897	901
918	918	919	944	944	944	967	967	967	1009	1009	—
1018	1019	1020	1044	1044	1043	1068	1068	1067	1109	1109	1112
715	713	—	—	747	769	769	768	—	819	—	820
905	905	908	934	936	—	962	966	965	1016	1018	—
996	997	997	1026	1026	1027	—	—	—	—	—	—
646	642	638	666	665	663	685	685	682	719	717	711
778	781	780	808	811	—	837	837	837	885	886	—
1009	1009	1010	1032	—	1036	—	1059	1058	1099	1099	1101
1169	1178	1183	1216	1223	1230	1262	1271	1283	1352	1360	1378
—	—	1286	1292	1298	1332	1339	1349	1349	—	—	—
1336	1345	1352	1384	1389	1390	1427	1435	—	1513	1523	1538
1438	1442	1448	1483	1491	1497	1525	1533	1545	1614	1623	1635
1535	1542	1548	1581	—	1594	1623	1631	1640	1710	1723	1734
—	1640	1648	—	1691	1695	1721	1730	1737	1810	1820	1830
—	1739	1747	—	1788	1793	1828	1837	1837	—	1917	1929

Сорбат	SE-30			OV-3		
	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C
n-Октанол	—	1745	1755	—	—	1862
n-Нонанол	—	—	1856	—	—	—
n-Деканол	—	—	1952	—	—	2301
Пропанол-2	1188	1191	1197	—	—	1242
Бутанол-2	1281	1284	1292	—	—	1338
Пентанол-2	1368	1373	1379	1412	1419	1424
Гексанол-2	1461	1467	1472	—	—	—
Гептанол-2	1556	—	1564	1598	1605	1611
Нонанол-2	—	1752	1759	—	1794	1798
Пентанол-3	1363	1370	1377	1409	—	1421
Гексанол-3	1443	1447	1456	1491	—	1502
Гептанол-3	1536	—	1544	1580	—	1591
Гептанол-4	1523	—	1536	—	1576	1582
Октанол-4	1618	—	1621	—	1664	1670
2-Метилпропанол-1	1305	1308	1314	1371	1378	1384
2-Метилбутанол-1	1407	1414	1421	1456	1462	1467
2-Метилпентанол-1	1485	1500	1507	1542	1548	1555
2-Метилбутанол-2	1326	1332	1342	—	—	—
2-Метилпентанол-2	1400	1409	1422	1450	1457	1461
2-Метилгексанол-2	1488	1496	1508	1538	1545	1551
2-Метилгептанол-2	1558	1597	1599	—	1635	1642
2-Метилгексанол-3	1501	1505	1508	—	1548	1553
3-Метилбутанол-1	1409	1417	1419	—	1462	1468
4-Метилпентанол-1	1506	1514	1517	—	—	—
2-Этилбутанол-1	1500	1507	1514	—	1553	1560
2-Этилгексанол-1	—	1675	1685	—	—	1729
3-Этилпентанол-3	—	1513	1526	—	—	—
2,2-Диметилпентанол-3	1453	1465	1474	—	1510	1518
2,2-Диметилгексанол-3	1537	1538	1545	—	1538	1590
Пентен-1-ол-3	1348	1356	1364	—	1407	1412
Гексен-1-ол-3	1439	1443	1445	—	1490	1495
Гептен-1-ол-3	1528	1531	1539	—	—	—
Октен-1-ол-3	—	—	1633	—	—	—
Бутен-2-ол-1	—	1373	1376	—	1419	1425
Гексен-3-ол-1	—	1539	1546	—	1590	1593
Гептен-3-ол-1	1619	1626	1630	—	1677	1684
2-Метилбутен-3-ол-2	1317	1322	1326	—	1365	1370
3-Метилбутен-3-ол-1	1414	1423	1426	—	1471	1477
2-Метилгептен-1-ол-3	—	1606	1611	—	—	—
Пропандиол-1,3	1551	1550	1554	—	1577	1584
Бутандиол-1,4	—	1667	1669	1700	1700	1704

Продолжение табл. III.5 Б

		OV-7			OV-11			OV-17			OV-25		
		100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C	100 °C	120 °C	140 °C
—	—	—	—	—	—	—	1891	—	—	1938	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1351	1355	1362	1436	1445	1457
—	—	—	—	—	1409	1415	1420	1449	1456	1463	1534	1541	1554
1453	1459	1465	1498	1506	1510	1536	1544	1550	1620	1628	1638	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1640	1646	1653	—	1690	—	—	1730	1736	—	—	—	—	—
—	1834	1842	—	—	—	—	—	—	1800	1736	1823	—	—
1447	1454	1462	1490	1498	1501	1534	1540	1546	—	—	—	—	—
—	1536	1542	1574	1580	1586	1613	1619	1625	—	—	—	—	—
—	1626	1632	1664	1673	1676	1706	1709	1716	1699	1708	1718	—	—
—	1614	1622	—	—	1642	1692	1700	1706	—	1798	1807	—	—
—	1664	1670	—	1706	1711	—	1750	1753	1778	1785	1794	—	—
1392	1399	1405	1434	1449	1453	1471	1475	1488	—	1874	1881	—	—
1497	1504	1512	1539	1550	1554	—	1592	1599	1556	1564	1577	—	—
—	1592	1600	—	1638	1642	1667	1675	1685	1667	1676	1688	—	—
1408	1417	1422	—	—	—	1487	1496	1506	1752	1761	1771	—	—
1487	1495	1499	1528	1539	1545	1566	1574	1582	1571	1582	1594	—	—
1575	1582	1588	1616	1626	1631	1563	1660	1669	—	—	—	—	—
—	1673	—	—	1716	1723	—	—	—	—	1742	1755	—	—
—	1588	1594	1624	1633	1638	—	—	—	—	—	—	—	—
1496	1502	1511	—	—	—	1582	1589	1599	—	—	—	—	—
—	1602	—	—	—	—	—	—	—	1666	1676	1687	—	—
1589	1596	1605	—	—	1653	1674	1685	1693	—	—	—	—	—
—	1763	1771	—	1810	1815	—	1848	1856	1761	1772	1785	—	—
—	—	—	1637	—	1659	—	1693	1702	—	1934	1945	—	—
1541	1549	1558	1584	1594	1600	1621	1628	1637	—	—	—	—	—
—	1622	1630	1656	1664	1670	1692	1698	1707	1707	1717	1727	—	—
1443	1448	1456	1488	1498	1499	1531	1538	1545	1784	1794	1802	—	—
—	1533	1539	1573	1580	1586	—	—	—	1623	1634	1644	—	—
1620	1626	1632	1666	1673	1680	1709	1714	1722	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1766	1771	—	1808	1814	—	1806	1818	—	—
1462	1469	1473	1515	1523	1529	1564	1572	1577	—	—	—	—	—
—	1636	1645	—	—	1697	—	—	—	1664	1674	1686	—	—
—	1724	1732	—	—	1786	—	—	—	—	—	—	—	—
—	1406	1412	1447	1454	1456	—	—	—	—	—	—	—	—
—	1518	—	1562	1570	1577	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1739	1746	—	—	1790	—	—	—	—	—
—	1643	1651	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	1769	1774	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Неподвижные фазы (5%) нанесены на хромосорб G AW DMCS. Pias J. B., Gasco L. — J. Chromatogr., 1975, v. 104, p. D14—D16.

В. Относительное удерживание при 120 °С (стандарт — *n*-октанол)

Сорбат	1	2	3	4	5	6
Пентанол-1	0,18	—	0,18	0,20	—	0,19
Гексанол-1	0,38	0,28	0,35	0,34	0,34	0,32
Гептанол-1	0,64	0,52	0,56	0,57	0,59	0,57
Нонанол-1	1,78	1,62	1,65	1,77	1,66	1,73
Деканол-1	3,00	2,62	2,70	3,00	2,65	2,92
Ундеканол-1	4,85	4,20	4,41	4,98	4,22	4,97
Додеканол-1	7,75	6,70	7,10	8,06	6,72	8,54
Тридеканол-1	12,25	10,80	11,65	—	—	13,62

Сорбат	7	8	9	10	11	12
Пентанол-1	—	0,18	—	0,16	—	0,22
Гексанол-1	0,39	0,36	0,38	0,31	0,37	0,35
Гептанол-1	0,60	0,62	0,50	0,55	0,43	0,41
Нонанол-1	1,71	1,61	1,62	1,96	1,75	1,50
Деканол-1	2,85	2,67	2,59	3,68	2,98	2,39
Ундеканол-1	4,70	4,23	4,15	6,65	5,00	3,79
Додеканол-1	7,55	6,75	6,53	11,92	7,86	5,88
Тридеканол-1	12,16	10,90	10,06	21,15	12,40	9,05

Неподвижные фазы: 1 — этиленгликольсукцинат; 2 — пропиленгликольсукцинат; 3 — триэтиленгликольсукцинат; 4 — бутиленгликоль-1,3-сукцинат; 5 — бутиленгликоль-1,4-сукцинат; 6 — бутиленгликоль-2,3-сукцинат; 7 — этиленгликольадипинат; 8 — пропиленгликольадипинат; 9 — триэтиленгликольадипинат; 10 — апиезон-Л; 11 — 1,2,3-трис(2-дианэтокси)пропан; 12 — карбовакс 20М.

Примечание. неподвижная фаза (5%) нанесена на огнеупорный кирпич Из-600. Носитель — весьма активный по спиртам, что заставляет считать данные на апиезоне оценочными.

Прокопенко Н. А., Майорова Р. В., Дементьева М. И. — ЖАХ, 1969, т. 24, № 5, с. 768—774.

Таблица III.6. Углеводороды парафиновые, ациклические

А. Изопарафины C<sub>5</sub>—C<sub>9</sub>. Индексы Ковача на *n*-гексатриаконтане

Сорбат	78 °С*	80 °С	100 °С	120 °С
Изопентан	468	—	—	—
2,2-Диметилпропан	411	—	—	—
2-Метилпентан	567	568	—	—
3-Метилпентан	584	583	585	589
2,2-Диметилбутан	532	537	538	—
2,3-Диметилбутан	567	567	568	571
2-Метилгексан	666	—	—	—
3-Метилгексан	677	676	—	679
3-Этилпентан	688	685	—	689
2,2-Диметилпентан	625	625	626	—
2,3-Диметилпентан	673	672	674	678
2,4-Диметилпентан	628	627	628	—
3,3-Диметилпентан	662	660	662	—
2,2,3-Триметилбутан	642	—	645	—
2-Метилгептан	764	763	763	—
3-Метилгептан	773	770	772	—
4-Метилгептан	767	—	—	—
3-Этилгексан	774	771	776	—
2,2-Диметилгексан	716	—	—	—
2,3-Диметилгексан	761	760	761	—
2,4-Диметилгексан	731	—	—	—
3,3-Диметилгексан	746	—	—	—
3,4-Диметилгексан	774	—	—	—
2-Метил-3-этилпентан	764	762	764	—
3-Метил-3-этилпентан	781	—	—	—
2,2,3-Триметилпентан	741	739	742	—
2,2,4-Триметилпентан	691	690	692	—
2,3,3-Триметилпентан	766	764	767	769
2,3,4-Триметилпентан	756	752	759	—
2,2,3,3-Тетраметилбутан	—	729	—	736
2,2-Диметилгептан	—	—	—	818
2,2,5-Триметилгексан	—	—	—	796
2,2-Диметил-3-этилпентан	—	—	830	837
2,2,3,3-Тетраметилпентан	—	—	865	871

Примечание. неподвижная фаза (30%) нанесена на целит. Desly D. H., Whytman B. H. F. — Anal. Chem., 1957, v. 29, N 3, p. 320—329. неподвижная фаза (6%) нанесена на хромосорб Pease E. C., Thornburn S. — J. Chromatogr., 1967, v. 30, N 2, p. 344—356.

Б. Изопарафины C<sub>5</sub>—C<sub>11</sub>. Индексы Ковача на динонилфталате

Сорбат	60 °С	70 °С	80* °С	80 °С	90* °С	100* °С	100 °С	110* °С	118 °С
Изопентан	474	—	—	474	—	—	475	—	—
2-Метилпентан	—	575	574	574	574	576	—	576	572
3-Метилпентан	—	486	586	—	591	593	—	595	—
2,2-Диметилбутан	534	—	—	535	—	—	537	—	537
2,3-Диметилбутан	566	—	—	568	—	—	571	576	576
2-Метилгексан	666	664	665	666	666	667	667	669	—

Продолжение табл. III.6 Б

Сорбат	Температура, °C									
	60	70*	80*	80	90*	100*	100	110*	110	118
3-Метилгексан	676	677	677	677	677	678	678	678	678	679
2,2-Диметилпентан	—	622	625	—	628	630	630	—	—	—
2,3-Диметилпентан	672	—	—	673	677	678	676	678	—	—
2,4-Диметилпентан	628	626	628	629	630	632	630	634	632	—
3,3-Диметилпентан	—	664	665	—	666	667	—	669	—	—
3-Этилпентан	683	685	687	689	688	690	692	691	—	—
2-Метилгептан	764	765	766	764	766	767	768	768	—	—
3-Метилгептан	772	771	771	773	772	773	774	774	775	—
4-Метилгептан	768	765	768	768	766	767	769	768	770	—
3-Этилгексан	—	771	773	—	774	776	—	774	775	—
2-Метил-3-этилпентан	—	—	—	—	—	—	—	—	772	—
3-Метил-3-этилпентан	—	—	—	—	—	—	—	—	795	—
2,2-Диметилгексан	—	714	715	—	716	717	—	718	—	—
2,3-Диметилгексан	—	762	762	—	763	764	—	765	766	—
2,4-Диметилгексан	—	722	723	—	725	726	—	727	732	—
2-Метилоктан	—	862	863	—	864	865	—	865	—	—
3-Метилоктан	870	869	869	871	870	871	872	871	—	—
4-Метилоктан	—	861	862	—	863	864	—	865	—	—
3-Этилгептан	—	867	867	—	868	869	—	870	—	—
4-Этилгептан	—	857	858	—	860	861	—	862	—	—
2,2-Диметилгептан	—	811	812	—	813	814	—	815	—	—
2,3-Диметилгептан	—	853	855	—	857	857	—	858	—	—
2,4-Диметилгептан	—	816	819	—	823	826	—	829	—	—
2,5-Диметилгептан	—	828	830	—	832	834	—	836	—	—
2,6-Диметилгептан	—	821	824	—	827	830	—	832	—	—
3,3-Диметилгептан	—	835	838	—	841	844	—	847	—	—
3,4-Диметилгептан	—	859	861	—	862	864	—	865	—	—
3,5-Диметилгептан	—	832	835	—	838	841	—	844	—	—
4,4-Диметилгептан	—	827	829	—	831	833	—	835	—	—
3-Метилнонан	—	—	—	—	—	—	—	—	965	—
2,2,5-Триметилгексан	772	—	—	774	—	—	775	—	776	—
2,3,3-Триметилгексан	—	835	838	—	841	844	—	847	—	—
2,3,5-Триметилгексан	—	806	808	—	809	810	—	811	—	—
2,4,4-Триметилгексан	—	806	808	—	809	810	—	811	—	—
3-Метилдекан	—	—	—	—	—	—	—	—	1061	—

Примечание. Неподвижная фаза (20%) нанесена на целит и на стенки капиллярной колонки из нержавеющей стали.

\* Evans M. B. — J. Gas Chromatogr., 1966, v. 4, N 1, p. 1—3.

Видергауз М. С., Помазанов В. В. и др. Инф. листок № 19—71, Казань.

Работа Видергауза цитируется по книге: Богословский Ю. Н., Анвагр Б. И., Видергауз М. С. — Хроматографические постоянные в газовой хроматографии. М., изд. стандартов, 1978, с. 42.

В. Изопарафины C<sub>5</sub>—C<sub>9</sub>. Индексы Ковача на метилсиликонах

Сорбат	SF-96							OV-101		SE-30
	25 °C [1]	51 °C [1]	80 °C [2]	90 °C [2]	100 °C [2]	110 °C [2]	120 °C [3]	50 °C [4]	60 °C [4]	80 °C [3]
Изопентан	469	471	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2-Диметилпропан	413	412	—	—	—	—	—	—	—	—
2-Метилпентан	567	569	570	571	571	571	571	570	570	570
3-Метилпентан	582	583	586	586	587	587	588	584	584	586
2,2-Диметилбутан	534	536	543	543	545	546	547	537	538	—
2,3-Диметилбутан	563	566	569	570	572	573	574	566	—	—
2-Метилгексан	669	668	668	669	669	669	670	—	—	—
3-Метилгексан	677	677	677	678	678	679	680	676	677	—
3-Этилпентан	687	687	685	—	686	—	687	—	—	—
2,2-Диметилпентан	624	625	628	628	630	630	632	—	—	—
2,3-Диметилпентан	669	670	672	674	675	676	677	670	671	—
2,4-Диметилпентан	631	630	632	633	633	634	634	631	631	—
3,3-Диметилпентан	655	656	661	662	664	666	668	—	—	—
2,2,3-Триметилбутан	634	637	642	644	646	649	651	—	—	—
2-Метилгептан	766	766	766	—	767	—	767	766	764	766
3-Метилгептан	773	773	774	775	775	776	776	773	774	775
4-Метилгептан	767	767	768	—	769	—	770	—	—	769
3-Этилгексан	773	774	775	—	776	—	777	—	—	776
2-Метил-3-этилпентан	759	761	—	—	—	—	778	—	—	763
3-Метил-3-этилпентан	765	769	775	—	779	—	782	—	—	—
2,2-Диметилгексан	721	722	724	725	726	726	728	722	—	721
2,3-Диметилгексан	759	760	762	762	764	765	767	761	761	761
2,4-Диметилгексан	733	735	736	737	737	738	739	734	735	—
2,5-Диметилгексан	731	732	733	—	735	—	736	—	—	—
3,3-Диметилгексан	738	741	744	746	748	750	751	742	742	746
2,2,3-Триметилпентан	730	734	743	—	747	—	754	734	736	739
2,2,4-Триметилпентан	689	691	696	—	699	—	702	—	—	692
2,3,3-Триметилпентан	749	754	760	762	765	767	770	754	756	762
2,3,4-Триметилпентан	746	750	—	—	749	—	753	750	752	754
2,2,3,3-Тетраметилбутан	715	721	727	730	733	736	739	—	—	—
2-Метилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	865
3-Метилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	871
4-Метилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	860
2,2-Диметилгептан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	820
2,3-Диметилгептан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	858
2,4-Диметилгептан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	823
2,5-Диметилгептан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	834
2,6-Диметилгептан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	828
2,2,4-Триметилгексан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	794
2,2,5-Триметилгексан	—	—	—	—	—	—	—	784	785	783
2,3,5-Триметилгексан	813	815	—	—	—	—	—	—	—	818

Примечание. Данные для колонок с SF-96 (25, 51 °C) и OV-101 измерены на капиллярной колонке, для колонки с SE-30 — с 5% неподвижной фазы, нанесенной на хромосорб для SF-96 (80, 90, 100, 110, 120 °C) — с 20% неподвижной фазы, нанесенной на хромосорб Р.

1. Polgár A. G., Holst J. J., Groennings S. — *Analyt. Chem.*, 1962, v. 34, N 10, p. 1226—1234.
2. Castello G., Berg M., Lunardelli M. — *J. Chromatogr.*, 1973, v. 79, p. 23—31; Castello G., d'Amato J. — *J. Chromatogr.*, 1975, v. 107, N 1, p. 1—10.
3. Miyake H. — *J. Japan Chem.*, 1958, v. 12, N 8, p. 627—630.
4. Pashkova V., Ullmanova H. — *Chromatographia*, 1974, v. 7, N 2, p. 75—79.

Г. Изопарафины по C<sub>8</sub>. Характеристики удерживания на сквалане (стандарт — н-алкан, имеющий то же число атомов углерода в молекуле, что и изомер)

Сорбат	$\Delta H^{\circ}_g$	F°	r
Изобутан	1,65	—0,30	0,680
Изопентан	1,45	0,30	0,762
2,2-Диметилпропан	4,50	0,35	0,404
2-Метилпентан	1,45	0,05	0,740
3-Метилпентан	1,10	0,60	0,855
2,2-Диметилбутан	3,55	1,00	0,538
2,3-Диметилбутан	2,30	1,35	0,724
2-Метилгексан	1,90	0,45	0,715
3-Метилгексан	1,25	0,30	0,795
2,2-Диметилпентан	3,95	0,90	0,483
2,3-Диметилпентан	1,90	1,00	0,762
2,4-Диметилпентан	3,55	0,60	0,505
3,3-Диметилпентан	3,15	2,15	0,672
2,2,3-Триметилбутан	3,95	2,50	0,556
2-Метилгептан	2,10	0,75	0,704
3-Метилгептан	1,45	0,30	0,762
4-Метилгептан	1,65	0,20	0,722
2,2-Диметилгексан	3,95	0,35	0,453
2,3-Диметилгексан	2,30	0,75	0,675
2,4-Диметилгексан	3,85	1,20	0,515
2,5-Диметилгексан	3,75	0,80	0,497
3,3-Диметилгексан	3,75	1,95	0,572
3,4-Диметилгексан	2,10	1,25	0,746
2,2,3-Триметилпентан	4,60	2,90	0,540
2,3,4-Триметилпентан	3,55	2,25	0,624
2,3,3-Триметилпентан	3,75	3,20	0,666
2,2,4-Триметилпентан	6,05	1,70	0,342
2,2,3,3-Тетраметилбутан	5,45	3,50	0,486
2,4-Диметилгептан	3,95	0,55	0,462

Д. Изопарафины C<sub>9</sub>, C<sub>10</sub>. Относительные термодинамические характеристики избирательности (стандарт — н-алкан, имеющий то же число атомов углерода в молекуле, что и изомер) и индексы Ковача на сквалане

Сорбат	$\Delta H^{\circ}_g$	F°	I
2-Метиллоктан	2,15	0,90	865,1
3-Метиллоктан	1,50	0,20	870,8
4-Метиллоктан	1,65	0,20	863,0
2,2-Диметилгептан	4,10	0,65	816,1
2,3-Диметилгептан	2,40	0,65	855,3
2,4-Диметилгептан	4,00	0,65	821,4
2,5-Диметилгептан	3,50	0,75	833,4
2,6-Диметилгептан	3,95	0,75	827,7
3,3-Диметилгептан	4,00	1,75	836,6
$\alpha$ -3,4-Диметилгептан	2,40	0,65	857,9
3,5-Диметилгептан	3,70	1,25	834,4
2,2,3-Триметилгексан	4,50	1,90	822,3
2,2,4-Триметилгексан	5,85	1,45	789,6
2,2,5-Триметилгексан	6,05	0,65	777,3
2,3,3-Триметилгексан	4,60	2,70	840,3
2,3,4-Триметилгексан	3,25	1,45	847,3
2,3,5-Триметилгексан	5,35	2,30	812,4
2,4,4-Триметилгексан	5,60	2,40	808,2
3,3,4-Триметилгексан	4,25	3,75	853,9
2,2,3,3-Тетраметилпентан	4,50	4,30	854,2
2,2,3,4-Тетраметилпентан	5,20	2,70	819,8
2,2,4,4-Тетраметилпентан	7,95	3,55	773,2
2,3,3,4-Тетраметилпентан	3,85	3,35	859,1
3-Метилнонан	1,60	0,20	969,4
4-Метилнонан	1,85	0,20	959,4
5-Метилнонан	2,05	0,20	957,3
2,3-Диметиллоктан	2,65	0,55	951,4
2,4-Диметиллоктан	4,10	0,60	915,9
3,3-Диметиллоктан	4,05	1,40	930,6
4,4-Диметиллоктан	4,20	0,55	917,0
$\alpha$ -3,4-Диметиллоктан	3,20	0,55	934,9
2,2,4-Триметилгептан	6,40	0,90	873,5
2,2,5-Триметилгептан	5,95	0,65	876,8
2,2,6-Триметилгептан	6,05	0,65	872,2
2,3,6-Триметилгептан	5,20	2,30	919,0
2,4,4-Триметилгептан	5,80	1,25	887,2
2,4,6-Триметилгептан	7,20	2,10	869,3
2,5,5-Триметилгептан	5,50	0,65	890,3
3,3,5-Триметилгептан	5,60	2,50	905,7
2,2,3,5-Тетраметилгексан	6,75	1,25	871,2
2,2,4,5-Тетраметилгексан	7,30	2,30	870,2
2,2,5,5-Тетраметилгексан	8,80	0,70	819,8
2,3,3,4-Тетраметилгексан	4,55	3,75	946,3
2,3,3,5-Тетраметилгексан	6,75	3,75	901,0
$\alpha$ -2,3,4,5-Тетраметилгексан	5,10	2,30	915,5
3,3,4,4-Тетраметилгексан	4,45	6,25	980,6
2,2,3,3,4-Пентаметилпентан	5,20	5,00	949,4

Примечание. В табл. III.6.Г данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали. Относительные молярные теплоты растворения и значения энтропийной избирательности рассчитаны по экспериментальным данным удерживания при различных температурах, опубликованных в работе: Hively R. I., Hinton R. E. — J. Gas Chromatogr., 1968, т. 6, N 7, p. 203—217, температура 50 °C.

В табл. III.6.Д индексы удерживания взяты из работы: Matukuma A. Gas Chromatogr., 1968, L. Inst. Petrol., 1969, p. 55—74, температура 40 °C.

Термодинамические параметры избирательности вычислены полуэмпирическим методом: Король А. Н., Лысюк Л. С. Теор. эксп. химия, 1980, т. 16, № 6, с. 792—800.

Сорбаг	22 °C [1]	23 °C [2]	27 °C [3]	30 °C [4]	35 °C [5]	50 °C [6]	55 °C [1]	60 °C [1]	67 °C [3]	70 °C [6]	80 °C [7]	98 °C [3]	90 °C [8]	100 °C [1]
Изопентан	474	474	474	475	475	474	473	—	—	475	476	476	476	—
2,2-Диметилпропан	413	413	411	411	—	412	—	—	—	413	413	413	414	—
3-Метилпентан	569	569	569	569	569	570	570	—	—	570	570	—	572	—
2-Метилпентан	583	583	583	583	583	584	585	—	—	585	585	586	587	—
2,2-Диметилбутан	534	535	535	535	535	537	538	—	—	538	539	540	542	—
2,3-Диметилбутан	565	565	565	566	566	567	569	—	—	569	569	570	571	—
2-Метилгексан	666	666	666	666	666	666	667	—	—	667	667	667	668	—
3-Метилгексан	675	675	676	675	676	676	677	—	—	677	677	678	679	—
3-Этилпентан	684	685	685	685	686	686	687	—	—	687	688	688	690	—
2,2-Диметилпентан	—	624	624	625	625	626	626	—	—	627	628	628	—	—
2,3-Диметилпентан	—	670	670	670	670	672	672	—	—	673	674	675	676	—
2,4-Диметилпентан	—	629	629	629	629	630	631	—	—	630	631	631	633	—
3,3-Диметилпентан	—	655	656	656	655	659	660	—	—	661	663	664	666	—
2,2,3-Триметилбутан	636	636	637	637	638	640	641	—	—	643	—	646	648	—
2-Метилгептан	765	764	763	764	764	765	765	765	765	765	765	765	767	765
3-Метилгептан	769	771	771	773	—	772	773	773	773	773	773	773	774	774
4-Метилгептан	767	767	766	767	766	767	768	768	767	768	768	767	768	769
3-Этилгексан	771	771	770	772	—	772	773	773	773	774	774	774	—	—
2,2-Диметилгексан	718	718	718	718	719	719	—	720	720	720	721	721	723	—
2,3-Диметилгексан	758	758	759	758	760	761	761	761	761	762	762	764	764	—
2,4-Диметилгексан	731	731	731	731	731	732	733	733	733	733	733	733	733	—
2,5-Диметилгексан	728	727	727	728	728	728	729	729	729	729	729	729	729	—
3,3-Диметилгексан	—	740	741	740	741	743	744	745	746	746	747	748	749	—
3,4-Диметилгексан	—	768	768	769	769	770	771	771	772	772	774	774	—	—
2-Метил-3-этилпентан	758	759	759	—	761	762	—	763	763	—	765	765	—	—
3-Метил-3-этилпентан	—	769	769	770	—	774	775	777	777	777	—	781	783	—
2,2,3-Триметилпентан	—	733	733	734	734	737	739	—	—	740	—	743	—	—
2,2,4-Триметилпентан	687	687	687	688	688	690	692	—	—	692	—	694	695	696
2,3,3-Триметилпентан	—	754	754	756	756	759	761	—	—	763	—	767	768	—
2,3,4-Триметилпентан	—	749	749	750	750	752	754	—	—	755	—	757	—	—

2,2,3,3-Тетраметилбутан	—	720	720	721	722	726	728	—	730	731	—	735	736	—
2-Метилпентан	862	864	864	—	—	870	—	—	—	—	864	—	867	—
3-Метилпентан	870	869	869	—	—	863	—	—	—	—	870	—	873	—
4-Метилпентан	—	862	862	—	—	863	—	—	—	—	863	—	866	—
3-Этилпентан	—	866	866	—	—	815	—	—	—	816	—	—	—	—
2,2-Диметилгептан	815	—	—	—	—	—	—	—	—	—	817	—	—	—
2,3-Диметилгептан	853	—	—	—	—	—	—	—	—	—	822	—	824	—
2,4-Диметилгептан	821	—	—	—	—	—	—	—	—	—	834	—	829	—
2,5-Диметилгептан	832	—	—	—	—	—	—	—	—	—	827	—	829	—
2,6-Диметилгептан	827	—	—	—	—	—	—	—	—	—	839	—	841	—
3,3-Диметилгептан	834	—	—	—	—	836	—	—	—	838	860	—	—	—
α-3,4-Диметилпентан	856	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
β-3,4-Диметилпентан	857	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α-3,5-Диметилпентан	832	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
β-3,5-Диметилпентан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,4-Диметилгептан	825	—	—	—	—	—	—	—	—	—	835	—	—	—
2-Метил-3-этилгексан	—	841	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	832	—
2-Метил-4-этилгексан	—	823	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3-Метил-3-этилгексан	—	850	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2,3-Триметилгексан	—	819	—	—	—	821	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2,4-Триметилгексан	—	787	—	—	—	789	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2,5-Триметилгексан	—	775	—	—	—	776	—	—	—	—	—	—	—	—
2,3,3-Триметилгексан	—	836	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α-2,3,4-Триметилгексан	—	843	—	—	—	849	—	—	—	—	—	—	—	—
β-2,3,4-Триметилгексан	—	846	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,3,5-Триметилгексан	—	811	—	—	—	812	—	—	—	—	—	—	—	—
2,4,4-Триметилгексан	—	805	—	—	—	808	—	—	—	—	—	—	—	—
3,3,4-Триметилгексан	—	849	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,3-Диэтилпентан	—	872	—	—	—	877	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2-Диметил-3-этилпентан	—	818	—	—	—	822	—	—	—	—	—	—	—	—
2,3-Диметил-3-этилпентан	—	867	—	—	—	822	—	—	—	—	—	—	—	—
2,4-Диметил-3-этилпентан	—	833	—	—	—	836	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2,3,3-Тетраметилпентан	—	847	—	—	—	852	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2,3,4-Тетраметилпентан	—	815	—	—	—	819	—	—	—	—	—	—	860	—
2,3,3,4-Тетраметилпентан	—	853	—	—	—	858	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2,4,4-Тетраметилпентан	—	769	—	—	—	773	—	—	—	—	—	—	—	—
2-Метилпентан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	964	—	—	—
3-Метилпентан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	970	—	—	—
4-Метилпентан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	960	—	—	—

Сорбат	22 °С [1]	25 °С [2]	27 °С [3]	30 °С [4]	35 °С [5]	50 °С [6]	55 °С [1]	59 °С [3]	70 °С [6]	80 °С [7]	88 °С [3]	96 °С [8]	100 °С [1]
	3-Метилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3-Этилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4-Этилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,3-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,4-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,5-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,6-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,7-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,3-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α-3,4-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
β-3,4-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α-3,5-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
β-3,5-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α-3,6-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
β-3,6-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,4-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α-4,5-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
β-4,5-Диметилоктан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1. Evans M. B. — J. Gas Chromatogr., 1966, v. 4, N 1, p. 1—3.
2. Desly D. H., Goldup A., Swanton W. T. — In: Gas Chromatogr./Brenner N. (Editor), New York Acad. Press., 1962, p. 105—115.
3. Hively R. A., Hinton R. E. — J. Gas Chromatogr., 1968, v. 6, N 4, p. 203—217.
4. Tourtes D. A. — J. Chromatogr., 1967, v. 30, N 2, p. 357—377.
5. Лаврова М. И. Автореферат канд. дисс., Иркутск, 1967, с. 17.
6. Rijkse J. A., Berg J. H. M. *Dipendaal I. P.* — J. Chromatogr., 1974, v. 91, p. 603—612.
7. Hoshikawa Y., Koike K., Kuriyama T. — Japan Analyst, 1972, v. 21, N 3, p. 307—315.
8. *Herskovitske P. L., Lombost. G., Takats J.* — In: 4. *kromatografias vandorgyules eloadasai*, Gyor: 1974, p. 311—316.

Примечание. В 2—13 графах приведены данные для капиллярных колонок: в 1 и 14 — для насеченных колонок с целлюлом, на который нанесено 20% неподвижной фазы. Данные для последних 11 веществ в последней графе таблицы измерены при 100 °С на капиллярной колонке *Martynan 1 У Ди-орган*; М. С. Нефтехимия, 1970, т. 10, № 3, с. 763—770.

Ж. Изопарафины C<sub>8</sub>—C<sub>13</sub>. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	60 °С	100 °С				120 °С	130 °С
	[1]	[2]	[3]	[4]	[3]	[4]	
4- <i>n</i> -Пропилгептан	906	911	—	—	—	—	
4-Изопропилгептан	925	926	—	—	—	—	
2-Метил-3-этилгептан	941	942	—	—	—	—	
2-Метил-4-этилгептан	907	911	—	—	—	—	
2-Метил-5-этилгептан	924	924	—	—	—	—	
3-Метил-3-этилгептан	953	952	—	—	—	—	
α-3-Метил-4-этилгептан	935	939	—	—	—	—	
β-3-Метил-4-этилгептан	936	940	—	—	—	—	
3-Метил-5-этилгептан	924	928	—	—	—	—	
4-Метил-3-этилгептан	940	942	—	—	—	—	
4-Метил-4-этилгептан	937	945	—	—	—	—	
2,2,3-Триметилгептан	914	921	—	—	—	—	
2,2,4-Триметилгептан	876	884	—	—	—	—	
2,2,5-Триметилгептан	878	884	—	—	—	—	
2,2,6-Триметилгептан	873	876	—	—	—	—	
2,3,3-Триметилгептан	932	939	—	—	—	—	
α-2,3,4-Триметилгептан	933	939	—	—	—	—	
β-2,3,4-Триметилгептан	933	939	—	—	—	—	
α-2,3,5-Триметилгептан	912	916	—	—	—	—	
β-2,3,5-Триметилгептан	913	917	—	—	—	—	
2,3,6-Триметилгептан	919	919	—	—	—	—	
2,4,4-Триметилгептан	879	898	—	—	—	—	
α-2,4,5-Триметилгептан	906	912	—	—	—	—	
β-2,4,5-Триметилгептан	908	912	—	—	—	—	
2,4,6-Триметилгептан	870	873	—	—	—	—	
2,5,5-Триметилгептан	892	897	—	—	—	—	
3,3,4-Триметилгептан	936	946	—	—	—	—	
3,3,5-Триметилгептан	908	916	—	—	—	—	
3,4,4-Триметилгептан	932	941	—	—	—	—	
α-3,4,5-Триметилгептан	945	950	—	—	—	—	
β-3,4,5-Триметилгептан	945	950	—	—	—	—	
2-Метил-3-изопропилгексан	—	924	—	—	—	—	
3,3-Диэтилгексан	954	964	—	—	—	—	
3,4-Диэтилгексан	954	952	—	—	—	—	
2,2-Диметил-3-этилгексан	902	912	—	—	—	—	
2,2-Диметил-4-этилгексан	881	890	—	—	—	—	
2,3-Диметил-3-этилгексан	949	958	—	—	—	—	
2,3-Диметил-4-этилгексан	930	937	—	—	—	—	
α-2,4-Диметил-3-этилгексан	929	937	—	—	—	—	
β-2,4-Диметил-3-этилгексан	930	937	—	—	—	—	
2,4-Диметил-4-этилгексан	921	931	—	—	—	—	
2,5-Диметил-3-этилгексан	891	900	—	—	—	—	
3,3-Диметил-4-этилгексан	938	947	—	—	—	—	
3,4-Диметил-3-этилгексан	964	973	—	—	—	—	
2,2,3,3-Тетраметилгексан	929	939	—	—	—	—	
α-2,2,3,4-Тетраметилгексан	902	914	—	—	—	—	
β-2,2,3,4-Тетраметилгексан	915	925	—	—	—	—	
2,2,3,5-Тетраметилгексан	903	912	—	—	—	—	
2,2,4,4-Тетраметилгексан	888	903	—	—	—	—	
2,2,4,5-Тетраметилгексан	872	880	—	—	—	—	
2,2,5,5-Тетраметилгексан	820	822	—	—	—	—	
2,3,3,4-Тетраметилгексан	952	960	—	—	—	—	
2,3,3,5-Тетраметилгексан	903	912	—	—	—	—	
2,3,4,4-Тетраметилгексан	935	947	—	—	—	—	
α-2,3,4,5-Тетраметилгексан	918	928	—	—	—	—	
β-2,3,4,5-Тетраметилгексан	928	938	—	—	—	—	

Продолжение табл. III 6 Ж

Сорбат	60 °С		100 °С		120 °С	130 °С
	[1]	[2]	[3]	[4]	[3]	[4]
3,3,4,4-Тетраметилгексан	984	996	—	—	—	—
2,4-Диметил-3-изопропилпентан	915	936	—	—	—	—
2-Метил-3,3-диэтилпентан	984	998	—	—	—	—
2,2,3-Триметил-3-этилпентан	966	982	—	—	—	—
2,2,4-Триметил-3-этилпентан	904	914	—	—	—	—
2,3,4-Триметил-3-этилпентан	969	983	—	—	—	—
2,2,3,3,4-Пентаметилпентан	953	969	—	—	—	—
2,2,3,4,4-Пентаметилпентан	922	936	—	—	—	—
2-Метилундекан	—	—	1162	—	1165	—
3-Метилундекан	—	—	1173	—	1174	—
4-Метилундекан	—	—	1161	—	1160	—
5-Метилундекан	—	—	1155	—	1155	—
6-Метилундекан	—	—	1152	—	1152	—
4-Этилдекан	—	—	1147	—	—	—
2,6-Диметилдекан	—	—	—	—	—	—
5,6-Диметилдекан	—	—	1130	—	—	—
4-Этил-5-метилнонан	—	—	1114	—	—	—
4,5-Диэтилдекан	—	—	1093	—	—	—
2-Метилдодекан	—	—	1263	—	1265	1264
3-Метилдодекан	—	—	1276	—	1270	1271
4-Метилдодекан	—	—	1258	—	1257	1258
5-Метилдодекан	—	—	1251	—	1253	1252
6-Метилдодекан	—	—	1250	—	1250	1250
2,2-Диметилундекан	—	—	—	1215	—	—
2,3-Диметилундекан	—	—	—	1251	1251	—
2,4-Диметилундекан	—	—	—	1208	—	—
2,5-Диметилундекан	—	—	—	1210	1210	—
2,6-Диметилундекан	—	—	—	1217	1210	—
2,7-Диметилундекан	—	—	—	1216	1216	—
2,8-Диметилундекан	—	—	—	1221	1218	—
2,9-Диметилундекан	—	—	—	1233	—	—
2,10-Диметилундекан	—	—	—	1227	1226	—
3,3-Диметилундекан	—	—	—	1233	1234	—
α-3,4-Диметилундекан	—	—	—	1247	1245	—
β-3,4-Диметилундекан	—	—	—	1248	—	—
α-3,5-Диметилундекан	—	—	—	1207	1205	—
β-3,5-Диметилундекан	—	—	—	1210	—	—
α-3,6-Диметилундекан	—	—	—	1213	—	—
β-3,6-Диметилундекан	—	—	—	1215	—	—
3,7-Диметилундекан	—	—	—	1218	—	—
α-4,6-Диметилундекан	—	—	—	1199	1198	—
β-4,6-Диметилундекан	—	—	—	1193	—	—
α-4,7-Диметилундекан	—	—	—	1204	—	—
β-4,7-Диметилундекан	—	—	—	1206	—	—
4,8-Диметилундекан	—	—	—	1212	—	—
5,5-Диметилундекан	—	—	—	1205	—	—
α-5,6-Диметилундекан	—	—	—	1223	1223	—
β-5,6-Диметилундекан	—	—	—	1227	—	—
α-5,7-Диметилундекан	—	—	—	1197	—	—
β-5,7-Диметилундекан	—	—	—	1190	—	—
6,6-Диметилундекан	—	—	—	1200	—	—

1. Rappoport S., Gautmann T. — Helv. chim. acta, 1973, v. 56, N 3, p. 1145—1158
2. Mira G. D., Mohan G., Sinha A. — J. Chromatogr., 1974, v. 99, p. 215—230.
3. Schomburg G., Henneberg D. — In: Gas Chromatogr., 1968/Ed Harbourn C L V L, Inst. Petroleum, 1969, p. 45—53.
4. Schomburg G., Henneberg D. — Z. analyt. chem., 1968, V. 236, S. 279—294.

Примечание. Данные определены на капиллярной колонке из нержавеющей стали.

3. Изопарафины C<sub>6</sub>—C<sub>8</sub>. Индексы Ковача на углеводородных неподвижных фазах

Сорбат	Сквалан		n-Триаконтан	
	70 °С	80 °С	70 °С	80 °С
2-Метилпентан	570,3	570,5	599,0	570,3
3-Метилпентан	584,7	585,6	585,6	584,8
2,2-Диметилбутан	538,1	540,1	536,7	537,6
2,3-Диметилбутан	569,2	569,6	568,2	568,2
2-Метилгексан	668,5	667,7	666,3	666,2
3-Метилгексан	676,8	677,0	676,3	676,9
3-Этилпентан	688,0	688,2	686,4	686,5
2,2-Диметилпентан	627,4	627,9	624,8	626,2
2,3-Диметилпентан	673,5	674,4	672,8	672,9
2,4-Диметилпентан	631,5	631,8	628,7	628,8
3,3-Диметилпентан	662,1	662,8	660,6	661,9
2,2,3-Триметилбутан	643,2	644,6	640,7	642,0
2-Метилгептан	—	765,5	—	764,3
3-Метилгептан	—	772,6	—	772,4
4-Метилгептан	—	766,9	—	767,6
3-Этилгексан	—	773,5	—	772,9
2,2-Диметилгексан	—	729,9	—	717,9
2,3-Диметилгексан	—	762,0	—	761,3
2,4-Диметилгексан	—	733,2	—	731,5
2,5-Диметилгексан	—	729,7	—	727,7
3,3-Диметилгексан	—	746,2	—	745,7
3,4-Диметилгексан	—	774,1	—	773,1
2-Метил-3-этилпентан	—	764,2	—	763,1
3-Метил-3-этилпентан	—	779,6	—	779,9
2,2,3-Триметилпентан	—	742,3	—	741,0
2,2,4-Триметилпентан	—	693,7	—	690,7
2,3,3-Триметилпентан	—	765,3	—	765,0
2,3,4-Триметилпентан	—	756,4	—	754,6
2,2,3,3-Тетраметилбутан	—	773,0	—	731,0

Примечание. Неподвижная фаза (20%) нанесена на хромосорб W AW. Castello G., d'Amato C. — J. Chromatogr., 1979, v. 175, N 1, p. 27—39.

И. Изопарафины изопреноидного типа. Индексы Ковача при 200 °С

Сорбат	Аппезон L		SE-30		Этиленгликоль-адипинат*	
	1	10·δ1/δT	1	10·δ1/δT	1	10·δ1/δT
2,6-Диметилнонан	1018,5	0,45	1026,0	0,53	—	—
2,6-Диметилдекан	1112,0	0,70	1119,1	0,58	—	—
2,6-Диметилундекан	1207,0	0,41	1215,5	0,49	—	—
2,6,10-Триметилундекан	1260,4	0,13	1274,8	0,39	1231,2	—0,70
2,6,10-Триметилдодекан	1366,3	0,30	1378,9	0,50	1346,7	—0,49
2,6,10-Триметилтридекан	1448,8	0,11	1462,8	0,31	1422,8	—0,79
2,6,10-Триметилтетрадекан	1540,0	0,13	1554,6	0,44	1509,9	—1,03
2,6,10-Триметилпентадекан	1632,7	0	1650,2	0,52	1602,5	—1,12
2,6,10,14-Тетраметилпентадекан	1686,6	0	1709,4	0,28	1645,9	—1,37
2,6,10,14-Тетраметилгексадекан	1790,9	0,14	1813,6	0,52	1759,3	—1,21

Сорбат	Апиезон L		SE-30		Этиленгликоль-адипинат*	
	1	10-δI/δT	1	10-δI/δT	1	10-δI/δT
2,6,10,14-Тетраметилгептадекан	1871,5	—	1893,3	—	1839,3**	—
2,6,10,14-Тетраметилоктадекан	1959,2	—	1984,1	—	1928,4**	—
2,6,10,14-Тетраметилнонандекан	2052,9	—	2076,5	—	2018,0**	—
2,6,10,14,18-Пентаметилнонандекан	2113,4	—	2141,0	—	—	—
2,6,10,14,18-Пентаметилэйкозан	2214,2	—	—	—	—	—

\* Полимер этиленгликольадипината и пентаэритрита. Shlyakho A. F., Koreshkova R. I., Telkova M. S. — J. Chromatogr., 1975, v. 104, p. 337—349.

\*\* Температура 160 °C.

Таблица III.7. Углеводороды олефиновые, ациклические

А. Олефины C<sub>5</sub>—C<sub>15</sub>. Индексы Ковача на апиезоне L.

Сорбат	50 °C [1]	70 °C [2]	75 °C [3]	100 °C [3]	100 °C [4]	120 °C [4]	130 °C [2]	150 °C [3]	160 °C [5]	190 °C [2]
	Пентен-1	483	485	—	—	—	479	—	—	—
Пентен-2, цис	509	505	507	—	—	—	—	—	—	—
Пентен-2, транс	505	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-Метилбутен-1	—	505	504	—	—	499	—	—	—	—
3-Метилбутен-1	—	450	—	—	—	448	—	—	—	—
2-Метилбутен-2	—	527	532	—	—	526	—	—	—	—
Гексен-1	585	587	—	—	581	583	—	—	—	—
Гексен-2, цис	608	—	—	—	610	—	—	—	—	—
Гексен-2, транс	599	—	—	—	599	—	—	—	—	—
2-Метилпентен-1	—	—	583	—	583	—	—	—	—	—
4-Метилпентен-1	—	—	564	—	—	—	—	—	—	—
4-Метилпентен-2, цис	—	558	556	—	—	560	—	—	—	—
4-Метилпентен-2, транс	—	557	—	—	—	559	—	—	—	—
2-Этилбутен-1	—	—	—	597	—	—	—	—	—	—
2,3-Диметилбутен-2	—	—	—	628	—	—	—	—	—	—
Гептен-1	—	687	687	685	689	—	684	684	—	—
Гептен-2, цис	—	—	—	—	713	—	—	—	—	—
Гептен-2, транс	—	—	—	—	705	—	—	—	—	—
Гептен-3, цис	—	—	—	—	697	—	—	—	—	—
Гептен-3, транс	—	—	—	—	691	—	—	—	—	—
Октен-1	—	—	—	787	789	—	783	785	—	—
Октен-2, цис	—	—	—	—	811	—	—	—	—	—
Октен-2, транс	—	—	—	—	804	—	—	—	—	—
Октен-3, цис	—	—	—	—	796	—	—	—	—	—
Октен-3, транс	—	—	—	—	791	—	—	—	—	—
Октен-4, цис	—	—	—	—	794	—	—	—	—	—
Октен-4, транс	—	—	—	—	787	—	—	—	—	—
2-Этилгексен-1	—	—	—	—	787	—	—	—	—	—
2,4,4-Триметилпентен-1	—	—	—	714	—	—	—	—	—	—
2,4,4-Триметилпентен-2	—	—	—	716	—	—	—	719	—	—

Сорбат	50 °C [1]	70 °C [2]	75 °C [3]	100 °C [3]	100 °C [4]	120 °C [4]	130 °C [2]	150 °C [3]	160 °C [5]	190 °C [2]
	Нонен-1	—	—	—	884	—	889	—	—	891
Нонен-2, цис	—	—	—	—	—	910	—	—	—	—
Нонен-2, транс	—	—	—	—	—	903	—	—	—	—
Нонен-3, цис	—	—	—	—	—	890	—	—	—	—
Нонен-3, транс	—	—	—	—	—	890	—	—	—	—
Нонен-4, цис	—	—	—	—	—	891	—	—	—	—
Нонен-4, транс	—	—	—	—	—	897	—	—	—	—
Децен-1	—	—	—	—	894	—	990	—	986	990
Децен-2, цис	—	—	—	—	—	—	1011	—	—	—
Децен-2, транс	—	—	—	—	—	—	1003	—	—	—
Децен-3, цис	—	—	—	—	—	—	993	—	—	—
Децен-3, транс	—	—	—	—	—	—	989	—	—	—
Децен-4, цис	—	—	—	—	—	—	989	—	—	—
Децен-4, транс	—	—	—	—	—	—	986	—	—	—
Децен-5, цис	—	—	—	—	—	—	989	—	—	—
Децен-5, транс	—	—	—	—	—	—	988	—	—	—
Ундецен-1	—	—	—	—	1085	—	—	—	—	1089
Додецен-1	—	—	—	—	1192	—	—	—	1187	1188
Тридецен-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1289
Тетрадецен-1	—	—	—	—	—	—	—	—	1391	1389
Пентадецен-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1487

1. Sholly P. R., Brenner N. — In: Gas Chromatogr./Ed. Noebels H. J., New York. Acad. Press., 1961, p. 263—275.

2. Wehrh A., Kovats E. — Helv. chim. acta, 1959, v. 42, N 7, p. 2709—2736.

3. Brown I. — Austral. J. appl. Sci., 1960, v. 11, N 4, p. 403—433.

4. Орав А., Эйзен О. — Изв. АН ЭСРССР, химия, геология, 1972, т. 21, № 1, с. 39—47.

5. Maher T. P. — J. Chromatogr., 1963 v. 10, N 3, p. 324—337.

Примечание. Неподвижная фаза нанесена на белый носитель в таком количестве: [1] — 20%, [2] — 40%, [3] — 15%, [5] — 30%. В работе [4] использована капиллярная колонка из нержавеющей стали.

Б. Олефины C<sub>5</sub>—C<sub>20</sub>. Индексы Ковача на м-бис(феноксифенокси)бензоле, 5 колец

Сорбат	40 °C [1]	60 °C [2]	90 °C [2]	160 °C [2]	170 °C [3]	200 °C [1]	220 °C [3]
	Пентен-1	—	—	520	—	—	—
Пентен-2, цис	—	—	543	—	—	—	—
Гексен-1	—	—	619	—	—	—	—
Гексен-2, цис	—	—	648	—	—	—	—
Гексен-2, транс	—	—	635	—	—	—	—
Гептен-1	719	—	719	—	—	—	—
Гептен-2, цис	743	—	749	—	—	—	—
Гептен-2, транс	736	—	739	—	—	—	—
Гептен-3, цис	727	—	—	—	—	—	—
Гептен-3, транс	725	—	—	—	—	—	—
Октен-1	—	819	820	824	821	—	—
Октен-2, цис	—	843	847	—	—	—	—
Октен-2, транс	—	839	838	—	—	—	—
Октен-3, цис	—	835	—	—	—	—	—

Продолжение табл. III.7. Б

Сорбат	40 °C [1]	60 °C [2]	90 °C [2]	160 °C [2]	170 °C [3]	200 °C [4]	220 °C [3]
Октен-3, транс	—	825	—	—	—	—	—
Октен-4, цис	—	825	—	—	—	—	—
Октен-4, транс	—	819	—	—	821	—	—
Нонен-1	—	—	920	924	—	—	—
Нонен-2, цис	—	—	948	945	—	—	—
Нонен-2, транс	—	—	938	940	—	—	—
Децен-1	—	—	1020	1022	1025	—	—
Децен-2, цис	—	—	—	1046	—	—	—
Децен-2, транс	—	—	—	1037	—	—	—
Ундецен-1	—	—	—	1123	1128	1130	1122
Ундецен-2, цис	—	—	—	1147	—	—	—
Ундецен-2, транс	—	—	—	1138	—	—	—
Додецен-1	—	—	—	1222	1224	1230	1224
Додецен-2, цис	—	—	—	1246	—	—	—
Додецен-2, транс	—	—	—	1237	—	—	—
Тридецен-1	—	—	—	1320	1323	1327	1323
Тридецен-2, цис	—	—	—	1340	—	—	—
Тридецен-2, транс	—	—	—	1340	—	—	—
Тетрадецен-1	—	—	—	1424	1424	1425	1423
Пентадецен-1	—	—	—	—	1524	1525	—
Гексадецен-1	—	—	—	—	—	1620	1623
Гептадецен-1	—	—	—	—	—	1727	—
Октадецен-1	—	—	—	—	—	1833	—
Нонадецен-1	—	—	—	—	—	1930	—
Эйкозен-1	—	—	—	—	—	2023	—

1. Орав А, Эйзен О. — Изв. АН Эст. ССР. Химия, геология, 1972, т. 21, № 1, с. 39—47.

2. Лебедев Е. В., Манза И. А., Плиев Т. И. — Химия и технология топлив и масел, 1971, № 7, с. 53—56.

3. Ta Chuang Lo Chang, Karr C. — Anal. chim. acta, 1962, v. 26, N 5, p. 410—418.

4. Jaworski M., Szewczyk H. — Chemia analyt., 1970, v. 19, N 1, S. 53—58.

Примечание. Данные в работе [1] измерены на капиллярной колонке, в работе [2] — на насадочной колонке с 10% неподвижной фазы на хромсорбте, в работе [3] — на насадочной колонке с 25% неподвижной фазы на кирпиче, в работе [4] — на сорбенте, состоящем из 15% неподвижной фазы на целите.

В Олефины C<sub>6</sub>—C<sub>14</sub>. Индексы Ковача на м-бис(феноксифенокси)бензоле, 5 колец

Сорбат	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	140 °C	10 (ΔI/°C)
Гексен-1	619,1	620,2	620,9	—	624,4	626,2	—	—	0,87
Гексен-2, транс	635,3	635,6	635,4	—	636,3	636,8	—	—	0,20
Гексен-2, цис	643,1	643,8	644,6	—	647,6	649,1	—	—	0,70
Гексен-3, транс	632,3	631,7	631,5	—	629,9	629,1	—	—	0,37
Гексен-3, цис	628,8	630,3	630,6	—	634,2	636,0	—	—	0,86
Гептен-1	718,1	718,4	718,7	719,2	719,9	720,4	—	—	0,29
Гептен-2, транс	735,8	735,6	736,3	736,9	737,3	737,8	—	—	0,25
Гептен-2, цис	742,5	742,8	753,5	744,1	745,1	746,1	—	—	0,46

Сорбат	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	140 °C	10 (ΔI/°C)
Гептен-3, транс	724,3	724,0	723,7	723,5	723,3	722,9	—	—	0,16
Гептен-3, цис	726,8	726,5	727,5	729,2	729,9	731,0	—	—	0,59
Октен-1	—	—	817,9	818,9	820,1	821,2	—	—	0,55
Октен-2, транс	—	—	835,6	836,7	837,6	838,7	—	—	0,50
Октен-2, цис	—	—	841,8	843,1	845,4	846,8	—	—	0,87
Октен-3, цис	—	—	824,3	826,1	826,3	827,7	—	—	0,53
Октен-3, транс	—	—	824,8	825,5	825,5	826,0	—	—	0,17
Октен-4, транс	—	—	818,3	818,9	819,2	820,0	—	—	0,30
Октен-4, цис	—	—	822,5	823,8	825,6	827,2	—	—	0,79
Нонен-1	—	—	918,3	918,6	919,8	920,1	—	—	0,38
Нонен-2, транс	—	—	935,2	935,3	936,4	936,5	—	—	0,25
Нонен-2, цис	—	—	941,0	941,6	943,5	944,2	—	—	0,60
Нонен-3, цис	—	—	922,7	923,7	924,7	925,5	—	—	0,52
Нонен-3, транс	—	—	924,2	924,2	924,4	924,5	—	—	0,05
Нонен-4, транс	—	—	918,5	918,9	919,7	920,2	—	—	0,32
Нонен-4, цис	—	—	919,0	920,1	922,2	923,3	—	—	0,75
Децен-1	—	—	—	1018,0	1019,4	1020,2	—	—	0,47
Децен-2, транс	—	—	—	1035,7	1036,0	1036,5	—	—	0,20
Децен-2, цис	—	—	—	1041,0	1042,8	1043,8	—	—	0,72
Децен-3, транс	—	—	—	1022,8	1023,1	1023,3	—	—	0,10
Децен-3, цис	—	—	—	1021,3	1022,9	1023,9	—	—	0,62
Децен-4, транс	—	—	—	1017,2	1017,6	1018,4	—	—	0,35
Децен-4, цис	—	—	—	1017,2	1018,8	1020,1	—	—	0,78
Децен-5, транс	—	—	—	1018,3	1019,3	1020,1	—	—	0,47
Децен-5, цис	—	—	—	1014,6	1016,8	1018,2	—	—	0,90
Ундецен-1	—	—	—	1118,0	1119,0	1119,8	1120,6	—	0,45
Ундецен-2, транс	—	—	—	1135,5	1135,2	1136,4	1136,7	—	0,25
Ундецен-2, цис	—	—	—	1140,6	1141,8	1143,5	1144,8	—	0,75
Ундецен-3, транс	—	—	—	1122,6	1122,7	1123,0	1123,1	—	0,10
Ундецен-3, цис	—	—	—	1120,1	1121,0	1122,8	1123,7	—	0,65
Ундецен-4, транс	—	—	—	1115,3	1116,1	1117,0	1117,7	—	0,40
Ундецен-4, цис	—	—	—	1114,3	1116,0	1117,4	1119,0	—	0,82
Ундецен-5, транс	—	—	—	1116,3	1116,9	1117,7	1118,2	—	0,38
Ундецен-5, цис	—	—	—	1111,7	1113,1	1114,7	1116,0	—	0,75
Додецен-1	—	—	—	—	1219,1	1220,1	1221,0	—	0,52
Додецен-2, транс	—	—	—	—	1235,6	1236,3	1237,3	—	0,40
Додецен-2, цис	—	—	—	—	1242,1	1243,5	1244,9	—	0,72
Додецен-3, транс	—	—	—	—	1222,3	1222,6	1222,9	—	0,15
Додецен-3, цис	—	—	—	—	1220,8	1223,3	1223,6	—	0,72
Додецен-4, транс	—	—	—	—	1215,6	1216,4	1217,0	—	0,35
Додецен-4, цис	—	—	—	—	1215,0	1216,5	1219,0	—	0,90
Додецен-5, транс	—	—	—	—	1215,1	1216,9	1217,5	—	0,58
Додецен-5, цис	—	—	—	—	1210,4	1212,0	1213,9	—	0,88
Додецен-6, транс	—	—	—	—	1214,9	1216,3	1218,1	—	0,82
Додецен-6, цис	—	—	—	—	1210,1	1211,8	1213,7	—	0,92
Тридецен-1	—	—	—	—	—	1319,3	1321,0	1322,3	0,75
Тридецен-2, транс	—	—	—	—	—	1335,0	1337,1	1337,3	0,55
Тридецен-2, цис	—	—	—	—	—	1341,5	1344,5	1346,3	1,12
Тридецен-3, транс	—	—	—	—	—	1322,1	1323,1	1323,2	0,28
Тридецен-3, цис	—	—	—	—	—	1322,0	1322,7	1324,6	0,65
Тридецен-4, транс	—	—	—	—	—	1315,4	1316,6	1316,8	0,35
Тридецен-4, цис	—	—	—	—	—	1314,7	1316,4	1319,0	1,01
Тридецен-5, транс	—	—	—	—	—	1314,7	1316,9	1317,7	0,77

Продолжение табл. III.7. В

Сорбат	20 °C	30 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	110 °C	10 (N/°C)
Тридецен-5, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1309,2	1311,8	1313,7	1,10
Тридецен-6, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1313,8	1315,5	1316,0	0,58
Тридецен-6, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1307,6	1310,2	1312,3	1,17
Тетрадецен-1	—	—	—	—	—	1419,6	1422,1	1422,8	0,82
Тетрадецен-2, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1435,6	1436,4	1437,0	0,38
Тетрадецен-2, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1441,3	1444,4	—	—
Тетрадецен-3, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1422,0	1422,4	1422,5	0,12
Тетрадецен-3, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1421,2	1422,3	—	—
Тетрадецен-4, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1415,0	1415,8	1416,4	0,38
Тетрадецен-4, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1414,4	1416,6	1417,6	0,82
Тетрадецен-5, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1414,1	1415,6	1416,3	0,52
Тетрадецен-5, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1408,4	1411,0	1412,5	1,07
Тетрадецен-6, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1412,4	1414,3	1415,2	0,70
Тетрадецен-6, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1405,3	1408,0	1410,3	1,25
Тетрадецен-7, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1411,3	1413,4	1414,4	0,80
Тетрадецен-7, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1403,6	1406,3	1408,6	1,25

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали Rang S. e. a. — J. Chromatogr., 1977, v. 10, N 1, p. 55—63.

Г. Олефины C<sub>7</sub>—C<sub>10</sub>. Индексы Ковача на дибутилтетрахлорфталате

Сорбат	60 °C	80 °C	100 °C		110 °C	120 °C
	[1]	[1]	[1]	[2]	[2]	[1]
Гептен-1	710	710	711	—	711	711
Гептен-2, <i>цис</i>	732	733	733	—	—	734
Гептен-2, <i>транс</i>	721	721	720	—	—	720
Гептен-3, <i>цис</i>	715	715	716	—	—	716
Гептен-3, <i>транс</i>	703	703	703	—	—	703
Октен-1	810	811	811	810	810	811
Октен-2, <i>цис</i>	831	832	832	—	—	832

Продолжение табл. III.7 Г

Сорбат	60 °C	80 °C	100 °C		110 °C	120 °C
	[1]	[1]	[1]	[2]	[2]	[1]
Октен-2, <i>транс</i>	820	820	820	—	—	819
Октен-3, <i>цис</i>	813	814	814	—	—	815
Октен-3, <i>транс</i>	805	805	805	—	—	804
Октен-4, <i>цис</i>	810	811	811	—	—	812
Октен-4, <i>транс</i>	799	800	800	—	—	800
Нонен-1	911	911	911	911	911	912
Нонен-2, <i>цис</i>	930	931	931	—	—	932
Нонен-2, <i>транс</i>	920	920	919	—	—	919
Нонен-3, <i>цис</i>	911	912	912	—	—	913
Нонен-3, <i>транс</i>	904	904	903	—	—	903
Нонен-4, <i>цис</i>	907	908	909	—	—	910
Нонен-4, <i>транс</i>	900	900	900	—	—	901
Децен-1	1011	1011	1012	—	1011	1012
Децен-2, <i>цис</i>	1030	1030	1031	—	—	1031
Децен-2, <i>транс</i>	1020	1020	1019	—	—	1019
Децен-3, <i>цис</i>	1009	1010	1010	—	—	1010
Децен-3, <i>транс</i>	1003	1003	1003	—	—	1002
Децен-4, <i>цис</i>	1004	1005	1006	—	—	1007
Децен-4, <i>транс</i>	998	998	999	—	—	999
Децен-5, <i>цис</i>	1003	1004	—	—	—	—
Децен-5, <i>транс</i>	999	1000	1000	—	—	1001

1. Ryba M — J. Chromatogr., 1972, v. 5, N 1, p. 23—27.

2. Langer S H, Purnell J. H — J. Phys. Chem., 1963, v. 67, N 2, p. 263—270 (2)

Примечание. Данные в работе [1] измерены на капиллярной колонке, в работе [2] — 10% неподвижной фазы нанесено на огнеупорный кирпич.

Д. Олефины C<sub>5</sub>—C<sub>7</sub>. Индексы Ковача на дидецилфталате

Сорбат	0 °C [1]	20 °C [2]	25 °C [3]	50 °C [4]	100 °C [4]
Пентен-1	500	—	501	501	—
Пентен-2, цис	524	—	524	527	—
Пентен-2, транс	520	—	517	521	517
2-Метилбутен-1	507	—	508	—	505
2-Метилбутен-2	—	—	534	—	535
3-Метилбутен-1	464	—	466	—	—
Гексен-1	600	603	605	606	605
Гексен-2, цис	620	626	628	627	—
Гексен-2, транс	614	616	619	616	—
Гексен-3, цис	609	611	617	—	—
Гексен-3, транс	609	611	615	—	—
2-Метилпентен-1	599	600	604	606	605
2-Метилпентен-2	—	620	622	—	—
3-Метилпентен-1	—	568	567	—	—
3-Метилпентен-2, цис	—	635	636	—	—
3-Метилпентен-2, транс	—	623	622	—	—
4-Метилпентен-1	—	566	567	—	—
4-Метилпентен-2, цис	574	574	576	—	—
4-Метилпентен-2, транс	—	580	578	—	—
3-Этилбутен-1	—	614	615	—	—
2,3-Диметилбутен-1	—	580	578	—	—
3,3-Диметилбутен-1	—	517	517	—	—
3,3-Диметилпентен-1	708	—	—	—	—

1. Siruppe H. G. — Abhandl. Akad. Wiss. Berlin, Kl. Chem. Geol., Biol., 1964, N 6, S. 265—278.
2. Sullivan L. J., Lotz J. R., Willingham C. B. — Anal. Chem., 1956, v. 28, N 4, p. 465.
3. Hively R. A. — J. Chem. Eng. Data, 1960, v. 5, p. 237.
4. Scholly P. R., Brenner N. — In: Gas Chromatogr./Ed. Noebels H. J., New York: Academ. Press., 1961, p. 263.

Примечание. Данные в работе [1] измерены на капиллярной колонке, в работе [2] — на цсолите, покрытом 20% неподвижной фазы, в работе [3] — на колумпаке с 40% неподвижной фазы, в работе [4] — на хромсорбе с 20% неподвижной фазы.

Е. Олефины C<sub>5</sub>—C<sub>7</sub>. Индексы Ковача на силиконе SF-96 (24 °C)

Пентен-1	489	2-Метилгексен-2	701
Пентен-2, цис	515	3-Метилгексен-1	650
Пентен-2, транс	508	3-Метилгексен-2, цис	708
2-Метилбутен-1	497	3-Метилгексен-2, транс	700
2-Метилбутен-2	522	3-Метилгексен-3, цис	702
3-Метилбутен-1	460	3-Метилгексен-3, транс	693
Гексен-1	589	4-Метилгексен-1	663
Гексен-2, цис	614	4-Метилгексен-2, цис	663
Гексен-2, транс	605	4-Метилгексен-2, транс	665
Гексен-3, цис	603	5-Метилгексен-1	658
Гексен-3, транс	603	5-Метилгексен-2, цис	668
2-Метилпентен-1	588	5-Метилгексен-2, транс	660
3-Метилпентен-1	558	2-Этилпентен-1	688
2-Метилпентен-2	607	3-Этилпентен-1	653
3-Метилпентен-2, цис	620	3-Этилпентен-2	704
3-Метилпентен-2, транс	610	2,3-Диметилпентен-1	658
4-Метилпентен-1	556	2,3-Диметилпентен-2	712
4-Метилпентен-2, цис	567	2,4-Диметилпентен-1	645
4-Метилпентен-2, транс	567	2,4-Диметилпентен-2	655
2-Этилбутен-1	599	3,3-Диметилпентен-1	629
2,3-Диметилбутен-1	566	3,4-Диметилпентен-1	640
2,3-Диметилбутен-2	630	3,4-Диметилпентен-2, цис	678
3,3-Диметилбутен-1	513	3,4-Диметилпентен-2, транс	686
Гептен-2, цис	712	4,4-Диметилпентен-1	610
Гептен-2, транс	704	4,4-Диметилпентен-2, транс	628
Гептен-3, цис	700	4,4-Диметилпентен-2, цис	641
Гептен-3, транс	697	2-Этил-3-метилбутен-1	665
2-Метилгексен-1	685	2,3,3-Триметилбутен-1	632

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке. Polgar A. G., Holst J. J., Groenings S. Anal. Chem., 1962, v. 34, N 10, p. 1226—1234.

Ж. Олефины C<sub>3</sub>—C<sub>8</sub>. Относительные характеристики удерживания на сквалане при 50 °C (стандарт — гомоморфный парафин)

Сорбат	lg r	$\Delta H^0_s$	Сорбат	lg r	$\Delta H^0_s$
Пропилен	—0,066	1,00	2,3-Диметилбутен-1	—0,038	0
Бутен-1	—0,074	1,02	2,3-Диметилбутен-2	—0,172	—3,0
Бутен-2	0,028	—0,17	Гептен-1	—0,075	1,00
Изобутилен	—	—1,17	Гептен-2	—0,06	0,10
Пентен-1	—0,082	1,02	Гептен-3	—0,053	0,60
Пентен-2	0	0,12	2-Метилгексен-1	0,058	—0,20
3-Метилбутен-1	—0,103	1,45	4-Метилгексен-1	—0,075	1,15
2-Метилбутен-1	0,063	—0,82	2-Метилгексен-2	0,109	—1,60
2-Метилбутен-2	0,167	—	2-Метилгексен-3	—0,078	0,30
Гексен-1	—0,073	1,00	3-Метилгексен-1	—	1,65
Гексен-2	—0,011	0,30	3-Метилгексен-3	0,100	0,70
Гексен-3	—0,032	0,25	4-Метилгексен-2	0,183	0,95
3-Метилпентен-1	—0,139	1,75	5-Метилгексен-1	—0,064	0,71
4-Метилпентен-1	—0,085	1,20	5-Метилгексен-2	—0,026	0
4-Метилпентен-2	—0,09	0,65	2,3-Диметилпентен-1	—0,092	1,15
2-Метилпентен-1	0,046	—0,21	2,4-Диметилпентен-1	—0,145	—0,25
2-Метилпентен-2	0,123	—1,45	2,4-Диметилпентен-2	0,047	—1,25
3-Метилпентен-2	0,017	—1,45	3,3-Диметилпентен-1	—0,140	1,05
2-Этилбутен-1	0,036	—0,75	3,4-Диметилпентен-1	—0,145	1,65
3,3-Диметилбутен-1	—0,131	1,45	3,4-Диметилпентен-2	—	—0,80

Продолжение табл. III 7. Ж

Сорбат	lg r	$\Delta H^0_s$	Сорбат	lg r	$\Delta H^0_s$
4,4-Диметилпентен-1	-0,040	1,05	2,3-Диметилгексен-1	-0,089	1,15
4,4-Диметилпентен-2	-0,049	-0,15	3,4-Диметилгексен-3	0,034	-0,45
2,3,3-Триметилбутен-1	-0,048	0,08	2,3,4-Триметилпентен-2	0,060	-1,75
2-Этилпентен-1	-0,014	-0,35	2,4,4-Триметилпентен-1	0,058	-0,65
3-Этилпентен-1	-0,164	1,90	2,4,4-Триметилпентен-2	0,063	-1,95
3-Этилпентен-2	0,047	-0,92	2-Метил-3-этилпентен-2	0,076	-1,15
2-Этил-3-метилбутен-1	—	0,80			
Октен-1	-0,080	1,10			
Октен-4	-0,070	0,90			
2,2-Диметилгексен-3	-0,112	0,70			

Примечание. Данные приведены только для транс-изомеров  
Korol A N — J. High Resolution Chromatogr. & Chromatogr. Commun., 1981, v. 4, N 10 p. 527—529

3 Олефины  $C_3$ ,  $C_4$ . Относительные молярные теплоты растворения и индексы Ковача на сквалане при 40 °С (стандарт — гомоморфный парафин)

Сорбат	$\Delta H^0_s$	I	Сорбат	$\Delta H^0_s$	I
Октен-2	0,21	799	2,5-Диметилгексен-3	1,50	696,0
Октен-3	0,65	789,6	3,3-Диметилгексен-1	1,30	714,2
2-Метилгептен-1	-0,20	776,4	3,4-Диметилгексен-1	1,70	740,8
2-Метилгептен-2	-1,10	791,1	3,4-Диметилгексен-2	-0,05	761,5
2-Метилгептен-3	1,30	741,4	4,4-Диметилгексен-1	1,10	724,6
3-Метилгептен-1	0,50	740,4	4,4-Диметилгексен-2	0,40	747,6
3-Метилгептен-2	-1,10	798,4	4,5-Диметилгексен-1	1,10	741,9
3-Метилгептен-3	-0,60	784,2	4,5-Диметилгексен-2	1,25	735,3
4-Метилгептен-1	1,10	746,9	5,5-Диметилгексен-1	1,10	706,3
4-Метилгептен-2	0,85	750,7	5,5-Диметилгексен-2	0,20	708,2
4-Метилгептен-3	-0,60	778,9	2-Этил-3-метилпентен-1	0,65	750,4
5-Метилгептен-1	1,10	755,5	2-Этил-4-метилпентен-1	0,05	737,0
5-Метилгептен-2	0,20	767,6	3-Этил-2-метилпентен-1	1,25	734,9
5-Метилгептен-3	1,30	755,9	3-Этил-2-метилпентен-3	0	756,9
6-Метилгептен-1	1,10	748,2	3-Этил-3-метилпентен-1	1,70	743,6
6-Метилгептен-2	0,20	768,5	3-Этил-4-метилпентен-1	2,15	726,0
6-Метилгептен-3	0,65	748,6	2,2,4-Триметилпентен-4	-0,20	706,0
2-Этилгексен-1	0,05	779,3	2,3,3-Триметилпентен-1	0,85	733,8
3-Этилгексен-2	-0,85	781,8	2,3,3-Триметилпентен-4	1,30	724,2
3-Этилгексен-3	-0,85	772,7	2,3,3-Триметилпентен-4	1,85	726,4
3-Этилгексен-4	1,25	742,7	2,3,4-Триметилпентен-1	1,70	703,0
3-Этилгексен-5	1,10	757,4			
3-н-Пропилпентен-1	0,45	768,0			
2,3-Диметилгексен-2	-1,15	788,8			
2,3-Диметилгексен-3	0,40	751,3			
2,4-Диметилгексен-1	-0,20	743,1			
2,4-Диметилгексен-2	-0,05	730,8			
2,4-Диметилгексен-3	-0,15	728,0			
2,4-Диметилгексен-4	-1,10	751,7			
2,4-Диметилгексен-5	1,70	699,5			
2,5-Диметилгексен-1	-0,20	743,5			
2,5-Диметилгексен-2	-0,65	749,5			

Продолжение табл. III.7 3

Сорбат	$\Delta H^0_s$	I	Сорбат	$\Delta H^0_s$	I
3,4,4-Триметилпентен-2	-0,45	747,1	2-Изопропил-3-метилбутен-1	1,45	712,4
2-Этил-3,3-диметилбутен-1	-0,15	731,4			

Примечание. Данные приведены только для транс-изомеров. Относительные молярные теплоты растворения являются расчетными величинами.

И. Пространственные изомеры олефинов. Относительные молярные теплоты растворения и разность индексов Ковача на сквалане при 40 °С (стандарт — транс-изомер)

Сорбат	$\Delta H^0_s$	$\Delta I$	Сорбат	$\Delta H^0_s$	$\Delta I$
Бутен-2	-0,60	—	3-Метилгексен-3	0,70	—
Пентен-2	-0,25	—	3-Метилгептен-3	0,70	-6,5
Гексен-2	-0,30	—	3-Метилгептен-4	0,40	0,2
Гептен-2	0,10	—	3-Метилгептен-5	0,10	9,2
Ундецен-2	0,20	—	4-Метилпентен-2	0,20	—
Гексен-3	-0,05	—	4-Метилгексен-2	0,60	—
Гептен-3	0	—	4-Метилгептен-2	0,70	4,5
Ундецен-3	0,40	—	4-Метилгептен-3	0,70	-5,0
Ундецен-4	0,40	—	3-Этилгексен-2	0,20	1,8
Ундецен-5	0,50	—	3-Этилгексен-4	0	6,1
Октен-2	0,10	3,5	2,3-Диметилгексен-3	-0,10	-1,9
Октен-3	0,15	0,4	2,3-Диметилгексен-4	-0,10	1,5
Октен-4	0,15	1,6	2,4-Диметилгексен-3	-0,10	-2,6
2-Метилгексен-3	0,60	-4,7	2,4-Диметилгексен-4	-0,10	0,6
2-Метилгептен-3	0,76	-4,4	2,5-Диметилгексен-3	-0,10	2,0
2-Метилгексен-4	-0,20	10,8	3,4-Диметилгексен-2	0,60	-4,2
2-Метилгептен-4	0,20	1,4	5,5-Диметилгексен-2	-0,20	15,5
2-Метилгептен-5	0,10	3,4	3,4-Диметилгексен-3	-0,33	—
3-Метилпентен-2	0,70	—	2-Метил-3-этилпентен-3	0,20	11,3
3-Метилгексен-2	0,70	—	3-Метил-4,4-диметилпентен-2	-0,20	14,1
3-Метилгептен-2	0,70	-9,4			

Примечание.  $\Delta I$  — разность индексов Ковача для цис- и транс-изомеров. Относительные молярные теплоты растворения являются расчетными.  
Korol A. N. Нефтехимия, 1982, т. 22, № 1, с. 133—140.

К. Олефины C<sub>5</sub>—C<sub>8</sub>. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	22 °C	26 °C	27 °C	30 °C	40 °C	49 °C	50 °C
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[3]	[6]
Пентен-1	—	483	481	480	485	481	481
Пентен-2, <i>цис</i>	—	505	505	505	—	505	505
Пентен-2, <i>транс</i>	—	503	501	500	—	500	499
2-Метилбутен-1	488	486	487	487	—	488	488
2-Метилбутен-2	515	514	514	513	—	514	514
3-Метилбутен-1	449	—	449	448	—	450	449
Гексен-1	582	583	582	581	583	583	582
Гексен-2, <i>цис</i>	—	600	603	602	604	603	603
Гексен-2, <i>транс</i>	—	596	597	597	597	598	597
Гексен-3, <i>цис</i>	—	593	592	592	593	593	592
Гексен-3, <i>транс</i>	—	595	593	592	592	592	592
2-Метилпентен-1	580	—	580	579	581	580	580
3-Метилпентен-1	551	—	550	549	—	552	551
4-Метилпентен-1	549	—	549	548	—	550	549
2-Метилпентен-2	599	600	598	598	598	598	598
3-Метилпентен-2, <i>цис</i>	603	—	603	—	602	603	603
3-Метилпентен-2, <i>транс</i>	613	—	613	612	612	613	613
4-Метилпентен-2, <i>цис</i>	556	—	556	555	559	556	—
4-Метилпентен-2, <i>транс</i>	563	—	561	561	565	562	561
2-Этилбутен-1	593	—	592	592	592	592	592
2,3-Диметилбутен-1	558	559	559	557	560	558	559
2,3-Диметилбутен-2	625	—	625	624	625	626	625
3,3-Диметилбутен-1	506	—	505	506	—	507	507
Гептен-1	—	—	681	681	682	—	682
Гептен-2, <i>цис</i>	—	—	703	702	702	—	702
Гептен-2, <i>транс</i>	—	—	699	698	698	—	699
Гептен-3, <i>цис</i>	—	—	690	—	690	—	691
Гептен-3, <i>транс</i>	—	—	688	687	687	—	687
2-Метилгексен-1	—	—	678	679	680	—	679
2-Метилгексен-2	—	—	692	690	—	—	692
2-Метилгексен-3, <i>цис</i>	—	—	—	—	644	—	—
2-Метилгексен-3, <i>транс</i>	—	—	648	647	649	—	648
3-Метилгексен-1	—	—	643	—	646	—	643
3-Метилгексен-2, <i>цис</i>	—	—	700	699	—	—	700
3-Метилгексен-2, <i>транс</i>	—	—	693	—	693	—	693
3-Метилгексен-3, <i>цис</i>	—	—	692	—	694	—	692
3-Метилгексен-3, <i>транс</i>	—	—	685	683	687	—	685

50 °C	53 °C	67 °C	70 °C		74 °C	80 °C	86 °C	90 °C	100 °C
			[6]	[1]					
[7]	[8]	[3]	[6]	[1]	[8]	[9]	[3]	[10]	[11]
483	—	483	482	481	—	482	483	483	—
505	—	506	505	507	—	506	507	507	—
—	—	501	500	503	—	499	500	501	—
490	—	489	488	—	—	488	488	489	—
514	516	515	514	—	516	515	515	515	—
450	—	452	450	—	—	451	452	452	—
—	584	584	583	—	584	583	583	584	584
—	—	606	604	—	601	603	605	605	605
—	—	598	598	—	597	597	597	597	596
—	—	594	593	—	—	593	594	594	593
—	—	593	592	—	—	592	592	592	591
—	582	582	580	—	581	582	582	—	—
—	—	554	553	—	553	553	553	—	—
—	551	551	550	—	551	550	550	552	—
—	—	599	598	—	—	598	598	598	—
—	—	605	603	—	—	604	605	—	—
—	—	614	613	—	—	613	614	—	—
—	558	556	—	—	557	558	561	—	—
—	—	563	563	—	—	563	—	563	—
—	—	593	592	—	—	592	593	—	—
—	—	561	560	—	—	559	—	—	—
—	—	627	626	—	—	626	627	—	—
—	—	509	508	—	—	509	510	510	—
—	—	683	683	—	—	682	683	—	683
—	—	703	704	—	—	704	704	—	—
—	—	699	699	—	—	699	699	—	699
—	—	692	691	—	—	691	692	—	692
—	—	688	687	—	—	688	688	—	687
—	—	679	679	—	—	679	679	—	—
—	—	692	691	—	—	692	691	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	647	647	—	—	—	647	—	—
—	—	647	646	—	—	645	647	—	—
—	—	701	700	—	—	701	702	—	—
—	—	695	694	—	—	—	695	—	—
—	—	692	692	—	—	—	691	—	—
—	—	686	685	—	—	685	686	—	—



Л. Октены. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	I	Сорбат	I
2-Метилгептен-1	776	2,3-Диметилгексен-2	789
3-Метилгептен-1	740	2,4-Диметилгексен-1	743
4-Метилгептен-1	747	2,4-Диметилгексен-2	731
5-Метилгептен-1	755	2,5-Диметилгексен-1	743
6-Метилгептен-1	748	2,5-Диметилгексен-2	749
2-Метилгептен-2	791	3,3-Диметилгексен-1	714
3-Метилгептен-2, <i>цис</i>	789	$\alpha$ -3,4-Диметилгексен-1	741
3-Метилгептен-2, <i>транс</i>	798	$\beta$ -3,4-Диметилгексен-1	742
4-Метилгептен-2, <i>цис</i>	746	3,4-Диметилгексен-2, <i>цис</i>	757
4-Метилгептен-2, <i>транс</i>	751	3,4-Диметилгексен-2, <i>транс</i>	761
5-Метилгептен-2, <i>цис</i>	777	3,4-Диметилгексен-3, <i>цис</i>	783
5-Метилгептен-2, <i>транс</i>	767	3,4-Диметилгексен-3, <i>транс</i>	777
6-Метилгептен-2, <i>цис</i>	772	3,5-Диметилгексен-1	699
6-Метилгептен-2, <i>транс</i>	768	3,5-Диметилгексен-2, <i>цис</i>	752
2-Метилгептен-3, <i>цис</i>	736	3,5-Диметилгексен-2, <i>транс</i>	752
2-Метилгептен-3, <i>транс</i>	741	4,4-Диметилгексен-1	724
3-Метилгептен-3, <i>цис</i>	778	4,4-Диметилгексен-2, <i>цис</i>	744
3-Метилгептен-3, <i>транс</i>	784	4,4-Диметилгексен-2, <i>транс</i>	747
4-Метилгептен-3, <i>цис</i>	774	4,5-Диметилгексен-1	742
4-Метилгептен-3, <i>транс</i>	779	4,5-Диметилгексен-2, <i>цис</i>	737
5-Метилгептен-3, <i>цис</i>	760	4,5-Диметилгексен-2, <i>транс</i>	735
5-Метилгептен-3, <i>транс</i>	756	5,5-Диметилгексен-1	706
6-Метилгептен-3, <i>цис</i>	750	5,5-Диметилгексен-2, <i>цис</i>	724
6-Метилгептен-3, <i>транс</i>	748	3-Метил-2-этилпентен-1	751
2-Этилгексен-1	779	2-Метил-3-этилпентен-1	735
3-Этилгексен-1	738	2-Метил-3-этилпентен-2	778
4-Этилгексен-1	757	3-Метил-3-этилпентен-1	743
2-Этилгексен-2, <i>цис</i>	783	4-Метил-2-этилпентен-1	737
3-Этилгексен-2, <i>транс</i>	782	4-Метил-3-этилпентен-1	726
3-Этилгексен-3	773	4-Метил-3-этилпентен-2, <i>цис</i>	768
4-Этилгексен-2, <i>цис</i>	749	4-Метил-3-этилпентен-2, <i>транс</i>	757
4-Этилгексен-2, <i>транс</i>	743	3,3-Диметил-2-этилбутен-1	731
2-Изопропилпентен-1	747	3-Метил-2-изопропилбутен-1	712
3-Изопропилпентен-1	768	2,3,3-Триметилпентен-1	734
2,2-Диметилгексен-3, <i>цис</i>	717	2,3,4-Триметилпентен-1	726
2,2-Диметилгексен-3, <i>транс</i>	694	2,3,4-Триметилпентен-2	766
2,3-Диметилгексен-3, <i>цис</i>	749	2,4,4-Триметилпентен-1	706
2,3-Диметилгексен-3, <i>транс</i>	751	2,4,4-Триметилпентен-2	715
2,4-Диметилгексен-3, <i>цис</i>	725	3,3,4-Триметилпентен-1	724
2,4-Диметилгексен-3, <i>транс</i>	728	3,4,4-Триметилпентен-1	703
2,5-Диметилгексен-3, <i>цис</i>	701	3,4,4-Триметилпентен-2, <i>цис</i>	761
2,5-Диметилгексен-3, <i>транс</i>	696	3,4,4-Триметилпентен-2, <i>транс</i>	747
2,3-Диметилгексен-1	741		

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали при 40 °С.  
Matukuma A. — In: Gas Chromatography 1968/Ed. Harbourn C. L. A., London, Inst. Petroleum, 1969, p. 55—72.

М. Октены. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	I	Сорбат	I
2-Метилгектен-2	881	2,5-Диметилгептен-2	844
4-Метилгектен-2	842	2,6-Диметилгептен-2	850
4-Метилгектен-4	858	4,5-Диметилгептен-2	837
2,4-Диметилгептен-1	828	4,6-Диметилгептен-3	821
2,6-Диметилгептен-1	835	2,7-Диметилгептен-4	900
3,3-Диметилгептен-1	812		

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали при 80 °С.  
Лулова Н. И. и др. — Труды ВНИИ НП. М., 1976, вып. 18, с. 35—39.

Н. Олефины C<sub>9</sub>—C<sub>14</sub>. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	86 °С	100 °С	115 °С	130 °С
Нонен-1	882	882	883	—
Нонен-2, <i>цис</i>	901	902	902	—
Нонен-2, <i>транс</i>	896	896	896	—
Нонен-3, <i>цис</i>	887	887	888	—
Нонен-3, <i>транс</i>	886	886	886	—
Нонен-4, <i>цис</i>	885	885	886	—
Нонен-4, <i>транс</i>	884	884	884	—
Децен-1	982	982	983	—
Децен-2, <i>цис</i>	1001	1002	1002	—
Децен-2, <i>транс</i>	997	997	996	—
Децен-3, <i>цис</i>	985	986	986	—
Децен-3, <i>транс</i>	985	986	985	—
Децен-4, <i>цис</i>	982	983	983	—
Децен-4, <i>транс</i>	982	982	983	—
Децен-5, <i>цис</i>	981	981	982	—
Децен-5, <i>транс</i>	984	984	985	—

Продолжение табл. III.7. Н

Сорбат	86 °С	100 °С	115 °С	130 °С
Ундецен-1	1082	1082	1082	1083
Ундецен-2, <i>цис</i>	1101	1101	1102	1103
Ундецен-2, <i>транс</i>	1096	1096	1096	1097
Ундецен-3, <i>цис</i>	1085	1085	1085	1085
Ундецен-3, <i>транс</i>	1085	1085	1085	1085
Ундецен-4, <i>цис</i>	1080	1080	1081	1080
Ундецен-4, <i>транс</i>	1081	1082	1082	1083
Ундецен-5, <i>цис</i>	1077	1078	1079	1080
Ундецен-5, <i>транс</i>	1081	1081	1081	1082
Додецен-1	1182	1183	1183	1184
Додецен-2, <i>цис</i>	1201	1202	1202	1203
Додецен-2, <i>транс</i>	1197	1197	1197	1197
Додецен-3, <i>цис</i>	1184	1185	1186	1186
Додецен-3, <i>транс</i>	1185	1185	1185	1185
Додецен-4, <i>цис</i>	1179	1179	1180	1181
Додецен-4, <i>транс</i>	1180	1180	1181	1181
Додецен-5, <i>цис</i>	1174	1175	1176	1177
Додецен-5, <i>транс</i>	1180	1180	1181	1181
Додецен-6, <i>цис</i>	1174	1175	1176	1177
Додецен-6, <i>транс</i>	1179	1179	1180	1180
Тридецен-1	1283	1283	1283	1284
Тридецен-2, <i>цис</i>	1301	1301	1302	1304
Тридецен-2, <i>транс</i>	1297	1297	1297	1297
Тридецен-3, <i>цис</i>	1284	1284	1285	1285
Тридецен-3, <i>транс</i>	1285	1285	1285	1285
Тридецен-4, <i>цис</i>	1278	1278	1280	1281
Тридецен-4, <i>транс</i>	1279	1280	1280	1281

Продолжение табл. III.7. Н

Сорбат	86 °С	100 °С	115 °С	130 °С
Тридецен-5, <i>цис</i>	1273	1274	1275	1276
Тридецен-5, <i>транс</i>	1279	1279	1280	1280
Тридецен-6, <i>цис</i>	1270	1271	1272	1273
Тридецен-6, <i>транс</i>	1277	1277	1278	1279
Тетрадецен-1	—	1383	—	1384
Тетрадецен-2, <i>цис</i>	—	1401	—	1403
Тетрадецен-2, <i>транс</i>	—	1397	—	1397
Тетрадецен-3, <i>цис</i>	—	1384	—	1385
Тетрадецен-3, <i>транс</i>	—	1384	—	1385
Тетрадецен-4, <i>цис</i>	—	1378	—	1380
Тетрадецен-4, <i>транс</i>	—	1379	—	1380
Тетрадецен-5, <i>цис</i>	—	1372	—	1374
Тетрадецен-5, <i>транс</i>	—	1378	—	1380
Тетрадецен-6, <i>цис</i>	—	1368	—	1371
Тетрадецен-6, <i>транс</i>	—	1376	—	1377
Тетрадецен-7, <i>цис</i>	—	1367	—	1369
Тетрадецен-7, <i>транс</i>	—	1374	—	1376

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали.  
Sojak L. e. a. — Anal. Chem., 1973, v. 45, N 2, p. 293—298.

## О. Пентадецины и гексадецины. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	I	Сорбат	I
Пентадецен-1	1485	Гексадецен-2, <i>цис</i>	1604
Пентадецен-2, <i>цис</i>	1503	Гексадецен-2, <i>транс</i>	1597
Пентадецен-2, <i>транс</i>	1497	Гексадецен-3, <i>цис</i>	1585
Пентадецен-3, <i>цис</i>	1486	Гексадецен-3, <i>транс</i>	1585
Пентадецен-3, <i>транс</i>	1485	Гексадецен-4, <i>цис</i>	1479
Пентадецен-4, <i>цис</i>	1480	Гексадецен-4, <i>транс</i>	1580
Пентадецен-4, <i>транс</i>	1480	Гексадецен-5, <i>цис</i>	1573
Пентадецен-5, <i>цис</i>	1474	Гексадецен-5, <i>транс</i>	1579
Пентадецен-5, <i>транс</i>	1480	Гексадецен-6, <i>цис</i>	1568
Пентадецен-6, <i>цис</i>	1470	Гексадецен-6, <i>транс</i>	1575
Пентадецен-6, <i>транс</i>	1477	Гексадецен-7, <i>цис</i>	1565
Пентадецен-7, <i>цис</i>	1468	Гексадецен-7, <i>транс</i>	1573
Пентадецен-7, <i>транс</i>	1475	Гексадецен-8, <i>цис</i>	1564
Гексадецен-1	1584	Гексадецен-8, <i>транс</i>	1572

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали при 130 °С.  
Sojak L. e. a. — J. Chromatogr., 1974, v. 91, p. 613.

Таблица III.8. Углеводороды диеновые

А Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	27 °C	27 °C	40 °C	50 °C	50 °C	67 °C	70 °C		86 °C	90 °C
	[1]	[2]	[2]	[3]	[4]	[2]	[3]	[6]	[2]	[5]
Пентадиен-1,2	—	526	526	525	526	527	525	—	527	528
Пентадиен 1,3, <i>цис</i>	524	524	525	524	524	—	525	—	529	530
Пентадиен-1,3, <i>транс</i>	515	515	516	515	516	518	516	—	519	520
Пентадиен-1,4	—	463	464	462	462	465	462	—	465	465
Пентадиен-2,3	—	532	531	530	530	531	530	—	530	530
2-Метилбутадиен 1,3	497	496	497	499	499	500	499	—	501	499
3-Метилбутадиен-1,2	—	512	511	510	510	511	510	—	510	512
Гексадиен-1,3, <i>цис</i>	—	622	622	—	—	621	—	—	621	—
Гексадиен-1,3, <i>транс</i>	611	613	611	611	612	614	612	—	615	614
Гексадиен-1,4, <i>цис</i>	—	588	588	587	588	589	589	—	589	—
Гексадиен-1,4, <i>транс</i>	—	583	583	581	581	583	582	—	582	583
Гексадиен-1,5	—	563	564	562	563	566	563	—	566	565
Гексадиен-2,4, <i>цис, цис</i>	—	661	662	660	660	663	661	—	664	—
Гексадиен 2,4, <i>цис, транс</i>	—	653	654	652	652	655	654	—	656	—
Гексадиен-2,4, <i>транс, транс</i>	—	645	646	644	644	647	645	—	647	—
3-Метилпентадиен-1,2, <i>цис</i>	—	637	639	637	—	640	638	—	—	641
3-Метилпентадиен-1,2, <i>транс</i>	—	640	643	641	—	644	642	—	647	—
2-Метилпентадиен 1,3, <i>цис</i>	—	600	601	—	—	602	—	—	602	603
2-Метилпентадиен-1,3, <i>транс</i>	—	628	628	626	—	629	627	—	629	—
4-Метилпентадиен-1,3	—	628	629	627	—	630	629	—	631	—
2-Метилпентадиен-1,4	559	—	—	556	—	—	556	—	—	—
3-Метилпентадиен-1,4	532	531	532	—	—	533	—	—	634	535
2-Этилбутадиен 1,3	—	599	599	598	—	600	599	—	600	—
2,3 Диметилбутадиен-1,3	612	610	611	610	—	613	—	—	613	—
Гептадиен 1,3	—	—	—	—	—	—	682	—	—	—
Гептадиен 1,5, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	—	689	—	—	—
Гептадиен 1,5, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	—	682	—	—	—
Гептадиен-1,6	—	—	664	—	—	665	—	—	665	—
2 Метилгексадиен 1,5	—	—	661	—	—	662	—	665	663	—
3-Метилгексадиен 1,5	—	—	—	—	—	—	—	653	—	—
2,4-Диметилпентадиен-1,3	—	—	687	—	—	688	—	—	687	—
Октадиен-1,7	—	—	—	—	—	—	—	764	—	—
Нонадиен 1,7, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	—	—	885	—	—
Нонадиен-1,7, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	—	—	880	—	—
2-Метилоктадиен 1,7	—	—	—	—	—	—	—	857	—	—
3-Метилоктадиен-1,7	—	—	—	—	—	—	—	828	—	—
4-Метилоктадиен-1,7	—	—	—	—	—	—	—	830	—	—

1 Schomburg G — J Chromatogr, 1966 v 23 N 1 p 45—64

2 Hively R A, Hinton R E — J Gas Chromatogr 1968, v 6 N 4 p 203—217

3. Ryjks J A, Berg J H M, Dipendaal J P — J Chromatogr, 1974, v 91 p 603

612.

4 Loewenguth J C, Tourres D A — Z anal Chem 1968 B 236 S 170—191

5 Hershkovitsne P L, Lombosi T, Takacs I — In 4 Kromatografias vandorgyules Eloadasi Gyor 1974, p 311—316

6 Schomburg G — Anal chim acta, 1967 v 38, N 1—2, p 45—64

Примечание Данные измерены на капиллярных колонках

Б Индексы Ковача и значения  $\delta I/\delta T$

Сорбат	Сквалан		Юкон	LB 550X
	I	10( $\delta I/\delta T$ )	I	10( $\delta I/\delta T$ )
Гептадиен-1,4, <i>транс</i>	674,1	0,22	726,2	0,01
Гептадиен-1,4, <i>цис</i>	673,3	0,89	762,2	0,01
Гептадиен-1,5, <i>транс</i>	678,8	0,19	730,8	0,06
Гептадиен-1,5, <i>цис</i>	682,7	0,64	737,5	0,29
Октадиен-1,3, <i>транс</i>	808,6	0,74	867,4	0,18
Октадиен-1,4, <i>транс</i>	768,8	-0,26	819,7	0,13
Октадиен-1,4, <i>цис</i>	769,5	0,69	821,6	0,32
Октадиен-1,5, <i>транс</i>	768,7	0,88	819,3	0,26
Октадиен-1,5, <i>цис</i>	768,3	0,57	819,7	0,13
Октадиен-1,6, <i>транс</i>	778,8	0,36	830,9	0,01
Октадиен-1,6, <i>цис</i>	781,8	0,68	836,8	0,34
Октадиен-1,7	762,2	0,53	815,7	0,12
Октадиен-2,4, <i>транс, транс</i>	836,8	0,77	897,8	0,25
Октадиен-2,4, <i>транс, цис</i>	834,6	0,64	897,8	0,25
Октадиен-2,4, <i>цис, транс</i>	840,1	0,54	903,8	0,15
Октадиен-2,4, <i>цис, цис</i>	844,2	0,76	907,1	0,36
Октадиен 2,5, <i>транс, транс</i>	796,5	-0,10	848,0	-0,34
Октадиен 2,5, <i>цис, транс</i>	798,0	0,46	852,7	-0,26
Октадиен 2,6, <i>транс, транс</i>	794,0	-0,12	845,7	-0,32
Октадиен 2,6, <i>цис, транс</i>	797,6	0,46	851,9	-0,07
Октадиен 2,6, <i>цис, цис</i>	801,9	0,74	859,6	0,40
Октадиен-3,5, <i>транс, транс</i>	837,3	0,77	898,1	-0,16
Октатриен 1,3,6, <i>транс, цис</i>	816,4	0,90	906,4	0,14
Октатриен-1,3,7, <i>транс</i>	788,5	0,72	875,2	0,12
Октатриен-1,3,7, <i>цис</i>	789,6	0,86	875,2	0,12

Примечание Данные измерены на капиллярной колонке при 30 °C  
Geyer R, Wendt W — Z Chemie, 1974 B 14 N 2, S 292—299



Таблица III.10. Углеводороды циклические, неароматические

А. Цикланы C<sub>5</sub>—C<sub>10</sub>. Индексы Ковача на апиезоне L

Сорбат	120 °C [1]	130 °C [2]	212 °C [3]	217 °C [3]	130 °C [3]	200 °C [4]
Циклопентан	—	587	—	—	—	—
Метилциклопентан	643	651	—	—	—	—
Этилциклопентан	754	—	—	—	—	—
n-Пропилциклопентан	855	—	—	—	—	—
n-Октилциклопентан	—	—	1368	—	—	—
n-Децилциклопентан	—	—	1550	—	—	—
n-Тетрадецилциклопентан	—	—	—	1944	—	—
Циклогексан	685	700	—	—	696	—
Метилциклогексан	751	760	—	—	765	—
1,1-Диметилциклогексан	—	—	—	—	830	—
1,2-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	879	—
1,2-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	847	—
1,3-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	848	—
1,3-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	802	—
1,4-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	848	—
1,4-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	826	—
n-Пропилциклогексан	—	—	—	—	972	—
Изопропилциклогексан	—	—	—	—	968	—
1,2,3-Триметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	950	—
1,2,3-Триметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	918	—
1,2,4-Триметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	921	—
1,2,4-Триметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	893	—
1,3,5-Триметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	900	—
1,3,5-Триметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	883	—
Изобутилциклогексан	—	—	—	—	1018	—
1,3-Диэтилциклогексан	—	—	—	—	1035	—
α-1,4-Диэтилциклогексан	—	—	—	—	1047	—
β-1,4-Диэтилциклогексан	—	—	—	—	1084	—
1-Метил-4-изопропилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	1004	—
1-Метил-4-изопропилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	1002	—
1,2,4,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	972	—
1,2,4,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	992	—
n-Гептилциклогексан	—	—	—	—	—	1385
n-Децилциклогексан	—	—	—	—	—	1686
2-Циклогексилдекан	—	—	—	—	—	1659
3-Циклогексилдекан	—	—	—	—	—	1625
4-Циклогексилдекан	—	—	—	—	—	1592
5-Циклогексилдекан	—	—	—	—	—	1577
2-Циклогексилундекан	—	—	—	—	—	1760
3-Циклогексилундекан	—	—	—	—	—	1723
4-Циклогексилундекан	—	—	—	—	—	1689
5-Циклогексилундекан	—	—	—	—	—	1671
6-Циклогексилундекан	—	—	—	—	—	1666
2-Циклогексилдодекан	—	—	—	—	—	1859
3-Циклогексилдодекан	—	—	—	—	—	1822
4-Циклогексилдодекан	—	—	—	—	—	1787
5-Циклогексилдодекан	—	—	—	—	—	1768
6-Циклогексилдодекан	—	—	—	—	—	1760
2-Циклогексилтридекан	—	—	—	—	—	1959
3-Циклогексилтридекан	—	—	—	—	—	1921
4-Циклогексилтридекан	—	—	—	—	—	1886

Продолжение табл. III.10. А

Сорбат	120 °C [1]	130 °C [2]	212 °C [3]	217 °C [3]	130 °C [3]	200 °C [4]
	5-Циклогексилтридекан	—	—	—	—	—
6-Циклогексилтридекан	—	—	—	—	—	1856
7-Циклогексилтридекан	—	—	—	—	—	1854
Циклопентан	—	846	—	—	—	—
Метилциклопентан	—	968	—	—	—	—
Циклооктан	—	979	—	—	—	—
Метилциклооктан	—	1019	—	—	—	—
Циклононан	—	1093	—	—	—	—
Циклодекан	—	1198	—	—	—	—
Циклоундекан	—	1292	—	—	—	—
Циклододекан	—	1384	—	—	—	—

1. Agrawal B. B., Tesarik K, Janak J. — J. Chromatogr., 1972, v. 65, N 1, p. 207—215.
2. Wehrli A, Kovats E. — Helv. chim. acta, 1959, v. 42, N 7, p. 2709—2736.
3. Antheaume J., Guiochon G. — Bull. Soc. chim. France, 1965, N 2, p. 298—307.
4. Schomburg G., Dielmann G. — Anal. Chem., 1973, v. 45, N 9, p. 1647—1658.

Примечание. В работах [1, 4] использованы капиллярные колонки; в работе [2] 40% неподвижной фазы нанесено на целит, в работе [3] — 15% неподвижной фазы нанесено на целит.

Б. Циклопентан, циклогексан и их производные. Индексы Ковача

Сорбат	Динонилфталат						Метилсиликоны			
	50 °C [1]	70 °C [2]	80 °C [2]	90 °C [2]	100 °C [2]	110 °C [2]	80 °C [3]	110 °C [4]	130 °C [5]	140 °C [6]
Циклопентан	577	583	585	587	589	591	—	—	—	—
Метилциклопентан	633	639	642	645	648	651	—	—	634	—
Этилциклопентан	739	743	747	750	753	756	—	—	749	—
1,1-Диметилциклопентан	—	681	684	688	691	691	—	—	683	—
1,2-Диметилциклопентан, <i>цис</i>	—	731	734	737	741	744	—	—	734	—
1,2-Диметилциклопентан, <i>транс</i>	691	697	700	702	704	707	—	—	702	—
1,3-Диметилциклопентан, <i>цис</i>	—	697	700	702	704	707	—	—	694	—
1,3-Диметилциклопентан, <i>транс</i>	685	688	692	695	699	702	—	—	698	—
n-Пропилциклопентан	—	844	846	848	852	852	—	—	851	—
Изопропилциклопентан	—	—	—	—	—	—	—	—	835	—
1,1,2-Триметилциклопентан	—	774	777	780	783	788	—	—	779	—
1,1,3-Триметилциклопентан	—	728	731	734	737	740	—	—	740	—
1,2,3-Триметилциклопентан, <i>цис, транс</i>	—	788	791	794	798	801	—	—	—	—
1,2,3-Триметилциклопентан, <i>транс, цис</i>	—	753	756	758	761	764	—	—	—	—
1,2,4-Триметилциклопентан, <i>цис, транс</i>	—	778	781	784	787	789	—	—	—	—
1,2,4-Триметилциклопентан, <i>транс, цис</i>	—	746	748	751	754	757	—	—	—	—
Циклогексан	669	676	679	682	685	688	667	—	676	—
Метилциклогексан	728	738	742	745	748	752	727	732	739	—
Этилциклогексан	—	850	852	854	856	858	825	843	842	—
1,1-Диметилциклогексан	—	—	—	—	—	812	784	—	—	—

Сорбат	Дионоилфталат						Метилсиликоны			
	[1]	[2]	[2]	[2]	[2]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	50 °С	70 °С	80 °С	90 °С	100 °С	110 °С	80 °С	110 °С	130 °С	140 °С
1,2-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	—	846	849	852	855	858	831	—	850	—
1,2-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	—	815	818	822	825	829	802	—	817	—
1,3-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	—	797	799	800	801	803	783	—	823	—
1,3-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	—	819	822	825	829	832	802	—	798	—
1,4-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	—	819	822	825	829	832	804	—	820	—
<i>n</i> -Пропилциклогексан	—	—	—	—	—	—	—	—	946	—
1,1,2-Триметилциклогексан	—	852	853	855	857	858	—	—	—	—
1,2,4-Триметилциклогексан, <i>транс, транс</i>	—	873	878	880	884	887	—	—	—	—
1,3,5-Триметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	872	—
1,3,5-Триметилциклогексан, <i>цис, цис</i>	—	856	857	859	860	862	—	—	—	—
1,3,5-Триметилциклогексан, <i>цис, транс</i>	—	873	878	880	884	887	—	—	—	—
1,2,4,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1054
1,2,3,4,5-Пентаметилциклогексан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1080

1. Huguet M — In: Journées internationales d'étude de méthodes de séparation immédiate et de chromatographie/Ed. Tranchant J. Paris, 1961, p. 69—84.
2. Иванова М. П., Сидоров Р. И., Петрова В. И. — Изв. НИИ нефти- и углехим. синтеза при Иркутском ун-те, 1967, т. 9, ч. 1, с. 173—179.
3. Mitra G. D., Saha N. — J. Chromatogr. Sci., 1970, v. 8, N 2, p. 95—102.
4. Соколова З. П., Семина Г. Н., Знаменская А. П. — В кн. «Химия и технология продуктов органического синтеза»/Труды ГИАП. М.: 1972, вып. 17, с. 137—143.
5. Antheaume J., Guiochon C. Bull. Soc. chim. France, 1965, N 2, p. 298—307.
6. Mitra G. D., Mohan G., Sinha A. — J. Chromatogr., 1974, v. 99, p. 215—230.

Примечание. В работе [1] использована колонка, заполненная огнеупорным кирпичом с 20% неподвижной фазы, в работе [2] — капиллярная колонка. Данные в работе [6] получены на капиллярной колонке, в работах [3] и [5] 5% неподвижной фазы нанесено на хромосорб. в работе [4] — 30% жидкости на тот же носитель. В работах [5, 7, 8] использован силикон SE-30, в [6] — E-301. При температуре 130 °С данные для циклопентанов получены в работе [5], для циклогексанов — в работе [7].

В. Циклопропан и его производные. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	25 °С	60 °С	80 °С	100 °С
Метилциклопропан	414,5	—	—	—
Метилденциклопропан	432,5	—	—	—
Метилциклопропен-1	426,5	—	—	—
Этилциклопропан	508,3	—	—	—
Винилциклопропан	515,6	—	—	—
1,1-Диметилциклопропан	458,8	—	—	—
1,2-Диметилциклопропан, <i>транс</i>	481,0	—	—	—
1,2-Диметилциклопропан, <i>цис</i>	513,1	—	—	—
<i>n</i> -Пропилциклопропан	608,9	—	614,8	—
(Пропен-2-ил)циклопропан	592,8	—	597,6	—
(Пропен-1-ил)циклопропан, <i>транс</i>	638,6	—	641,7	—

Сорбат	25 °С	60 °С	80 °С	100 °С
(Пропен-1-ил)циклопропан, <i>цис</i>	643,2	—	646,8	—
Изопропилциклопропан	569,9	—	—	—
1-Метил-1-этилциклопропан	567,0	—	—	—
1-Метил-2-этилциклопропан, <i>транс</i>	568,0	—	—	—
1-Метил-2-этилциклопропан, <i>цис</i>	603,0	—	—	—
1-Метил-2-винилциклопропан, <i>транс</i>	580,6	—	584,8	—
1-Метил-2-винилциклопропан, <i>цис</i>	605,4	—	609,8	—
1,1,1-Триметилциклопропан	548,5	549,9	—	—
Ди(циклопропил)циклопропан	640,2	—	646,2	—
<i>n</i> -Бутилциклопропан	—	712,5	713,7	—
(Бутен-1-ил)циклопропан, <i>транс</i>	—	731,4	731,6	731,0
(Бутен-1-ил)циклопропан, <i>цис</i>	—	728,4	728,8	731,0
(Бутен-2-ил)циклопропан, <i>транс</i>	—	—	715,4	—
(Бутен-2-ил)циклопропан, <i>цис</i>	—	721,4	723,6	725,0
(Бутен-3-ил)циклопропан	—	—	694,2	—
1-Метил-1- <i>n</i> -пропилциклопропан	—	662,8	—	—
(2-Метилпропил)циклопропан	—	680,6	—	—
<i>трет</i> -Бутилциклопропан	—	627,4	—	—
1-Метил-1-изопропилциклопропан	—	646,0	—	—
1-Метил-2-пропилциклопропан, <i>транс</i>	—	668,0	—	—
1-Метил-2-пропилциклопропан, <i>цис</i>	—	702,2	—	—
1-Метил-2-изопропилциклопропан, <i>транс</i>	—	624,8	—	—
1-Метил-2-изопропилциклопропан, <i>цис</i>	—	658,4	—	—
1-Метил-2(пропен-1-ил)циклопропан, <i>цис, транс</i>	—	703,0	—	702,0
1-Метил-2(пропен-1-ил)циклопропан, <i>транс, цис</i>	—	698,9	697,5	697,9
1-Метил-2(пропен-1-ил)циклопропан, <i>цис, транс</i>	—	720,1	719,7	720,4
1-Метил-2(пропен-1-ил)циклопропан, <i>цис, цис</i>	—	723,7	723,9	725,5
1-Метил-2(пропен-2-ил)циклопропан, <i>цис</i>	—	687,9	690,5	691,6
1,1-Диметил-2-этилциклопропан	—	632,8	—	—
1,2-Диметил-2-этилциклопропан, <i>транс</i>	—	653,6	—	—
1,2-Диметил-2-этилциклопропан, <i>цис</i>	—	654,7	—	—
1,1-Диэтилциклопропан	—	672,8	—	—
1,2-Диэтилциклопропан, <i>транс</i>	—	662,8	—	—
1,2-Диэтилциклопропан, <i>цис</i>	—	694,8	—	—
1,1,2,2-Тетраметилциклопропан	—	621,2	—	—
Дициклопропилметан	—	—	732,0	—
1-Винил-2-этилциклопропан, <i>транс</i>	—	668,4	669,6	670,8
1-Винил-2-этилциклопропан, <i>цис</i>	—	694,3	696,3	697,6
<i>n</i> -Пентилциклопропан	—	812,2	813,4	—
(2-Метилбутил)циклопропан	—	791,0	—	—
1,1-Диметил-2-пропилциклопропан	—	727,4	—	—
1,2-Дициклопропилэтан	—	—	826,8	—
1,1-Дициклопропилэтан	—	—	793,3	797,8
(1-Метилциклопропил)циклопропилметан	—	—	778,0	781,8
(2-Метилциклопропил)циклопропилметан, <i>транс</i>	—	—	783,7	786,3
(2-Метилциклопропил)циклопропилметан, <i>цис</i>	—	819,1	822,9	825,3

Продолжение табл. III.10. В

Сорбат	25 °С	60 °С	80 °С	100 °С
(2-Этилциклопропил) циклопропан, <i>транс</i>	—	790,4	792,7	794,7
(2-Этилциклопропил) циклопропан, <i>цис</i>	—	802,3	810,3	813,1
	60 °С	80 °С	100 °С	120 °С
<i>n</i> -Гексилциклопропан	912,4	912,7	914,6	916,6
(Гексен-1-ил) циклопропан, <i>транс</i>	—	928,7	929,3	—
(Гексен-1-ил) циклопропан, <i>цис</i>	—	922,6	923,9	—
(Гексен-4-ил) циклопропан, <i>транс</i>	—	911,8	913,2	914,6
(Гексен-4-ил) циклопропан, <i>цис</i>	—	915,4	917,7	920,1
(Гексен-5-ил) циклопропан	893,7	895,2	897,4	899,5
(Гексадиен-1,4-ил) циклопропан, <i>транс, транс</i>	—	936,5	936,8	—
(Гексадиен-1,4-ил) циклопропан, <i>цис, транс</i>	—	929,4	930,1	—
1-Метил-1-пентилциклопропан	853,1	—	—	—
1-Метил-2-пентилциклопропан, <i>транс</i>	864,2	—	865,9	—
1-Метил-2-пентилциклопропан, <i>цис</i>	899,7	900,3	902,1	903,5
1-Метил-2(пентен-3-ил) циклопропан, <i>транс, транс</i>	—	860,5	861,8	862,4
1-Метил-2(пентен-3-ил) циклопропан, <i>транс, цис</i>	—	867,5	870,2	871,0
1-Метил-2(пентен-3-ил) циклопропан, <i>цис, транс</i>	—	879,5	900,0	900,0
1-Метил-2(пентен-4-ил) циклопропан, <i>транс</i>	—	848,9	850,4	851,1
1-Метил-2(пентен-4-ил) циклопропан, <i>цис</i>	—	882,1	884,3	886,7
1-Метил-2(пентадиен-2,4-ил) циклопропан, <i>транс, транс</i>	—	884,2	885,4	—
1-Метил-2(пентадиен-2,4-ил) циклопропан, <i>транс, цис</i>	—	879,9	881,4	—
1-Этил-2- <i>n</i> -бутилциклопропан, <i>транс</i>	857,5	—	860,2	—
1-Этил-2- <i>n</i> -бутилциклопропан, <i>цис</i>	886,8	—	890,5	—
1-Винил-2-бутилциклопропан, <i>транс</i>	—	862,6	866,5	—
1-Винил-2-бутилциклопропан, <i>цис</i>	—	886,3	889,0	—
1-Этенил-2(бутен-2-ил) циклопропан, <i>транс, транс</i>	—	866,2	867,2	—
1-Этенил-2(бутен-2-ил) циклопропан, <i>цис, транс</i>	—	891,2	892,1	—
1,2-Ди- <i>n</i> -пропилциклопропан, <i>транс</i>	—	—	857,0	—
1,2-Ди- <i>n</i> -пропилциклопропан, <i>цис</i>	885,0	—	888,9	—
<i>n</i> -Гептилциклопропан	1011,9	1013,5	1015,3	1016,9
(1-Метилгексил) циклопропан	964,3	966,8	969,4	972,0
(2-Метилгексил) циклопропан	972,1	974,2	976,3	979,0
(3-Метилгексил) циклопропан	973,2	975,2	977,3	979,0
(4-Метилгексил) циклопропан	980,5	982,7	985,1	987,4
(5-Метилгексил) циклопропан	975,5	977,4	979,5	981,4
1-Метил-1- <i>n</i> -гексилциклопропан	954,5	956,3	958,0	959,9
1-Метил-2- <i>n</i> -гексилциклопропан, <i>транс</i>	963,3	964,4	965,4	966,4
1-Метил-2- <i>n</i> -гексилциклопропан, <i>цис</i>	997,6	999,0	1001,0	1002,4

Продолжение табл. III.10. В

Сорбат	60 °С	80 °С	100 °С	120 °С
1-Метил-2(1-метилпентил) циклопропан, <i>транс</i>	914,8	916,1	918,2	919,4
То же (диастереоизомер)	909,6	910,9	913,2	914,6
1-Метил-2(1-метилпентил) циклопропан, <i>цис</i>	947,3	948,7	951,0	952,5
1-Метил-2(2-метилпентил) циклопропан, <i>транс</i>	925,0	926,0	928,0	930,0
То же (диастереоизомер)	927,6	928,6	929,6	930,0
1-Метил-2(2-метилпентил) циклопропан, <i>цис</i>	960,8	962,4	964,9	966,6
То же (диастереоизомер)	942,7	944,4	944,1	949,0
1-Метил-2(3-метилпентил) циклопропан, <i>транс</i>	934,4	935,7	937,9	939,0
1-Метил-2(3-метилпентил) циклопропан, <i>цис</i>	966,1	968,0	970,9	972,8
1-Метил-2(4-метилпентил) циклопропан, <i>транс</i>	926,5	927,5	929,3	930,0
1-Метил-2(4-метилпентил) циклопропан, <i>цис</i>	960,8	962,4	964,9	966,6
1,1-Диметил-2-пентилциклопропан	919,6	920,7	922,3	923,4
1,2-Диметил-2-пентилциклопропан, <i>транс</i>	937,0	938,7	940,9	942,5
1,2-Диметил-2-пентилциклопропан, <i>цис</i>	931,4	932,8	934,8	936,2
1-Метил-2-пентил-3-метилциклопропан, <i>транс, цис</i>	943,7	944,4	945,9	946,4
1-Метил-2-пентил-3-метилциклопропан, <i>цис, транс</i>	939,0	939,4	940,2	940,4
1-Метил-2-пентил-3-метилциклопропан, <i>цис, цис</i>	1001,3	1003,6	1006,4	1008,7
1-Этил-2-пентилциклопропан, <i>транс</i>	954,9	956,1	958,3	—
1-Этил-2-пентилциклопропан, <i>цис</i>	985,1	986,4	988,6	990,0
1,3-Дициклопропилпропан	1026,7	1030,2	1033,3	—
1-Циклопропил-3(2-метилциклопропил)пропан, <i>транс</i>	—	981,2	983,4	—
1-Циклопропил-3(2-метилциклопропил)пропан, <i>цис</i>	959,0	1015,3	1018,8	—
1- <i>n</i> -Пропил-2-циклопропилциклопропан, <i>транс</i>	—	987,1	990,0	—
1- <i>n</i> -Пропил-2-циклопропилциклопропан, <i>цис</i>	—	998,5	1002,1	—
1,2-Ди(2-метилциклопропил)этан, <i>транс, транс</i>	—	931,2	933,6	—
1,2-Ди(2-метилциклопропил)этан, <i>цис, транс</i>	—	965,4	968,3	—
1,2-Ди(2-метилциклопропил)этан, <i>цис, цис</i>	—	1003,5	—	—
То же (диастереоизомер)	—	1003,8	—	—
Ди(2-метилциклопропил, 2-этилциклопропил)метан, <i>транс, транс</i>	—	925,9	—	—
Ди(2-метилциклопропил, 2-этилциклопропил)метан, <i>транс, цис</i>	—	955,8	958,0	—
1,4-Ди(2-метилциклопропил, циклопропил)бутен-2, <i>транс, транс</i>	—	996,0	997,3	—
1,4-Ди(2-метилциклопропил, циклопропил)бутен-2, <i>транс, цис</i>	—	995,5	997,3	—

Продолжение табл. III.10. В

Сорбат	Продолжение табл. III.10. В		
	60 °С	80 °С	100 °С
1-Циклопропил-2 (бутен-2-ил) циклопропан, <i>транс</i> , <i>транс</i>	—	987,5	989,5
1-Циклопропил-2 (бутен-3-ил) циклопропан, <i>цис</i> , <i>транс</i>	—	1005,3	1008,4
Ди (2-метилциклопропил, 2-этилциклопропил) метан, <i>транс</i> , <i>транс</i>	—	938,8	939,9
<i>n</i> -Октилциклопропан	—	—	1115,7
(Октен-2-ил) циклопропан, <i>транс</i>	—	—	1098,5
(Октен-3-ил) циклопропан, <i>транс</i>	—	—	1099,6
(Октен-7-ил) циклопропан	—	1197,9	—
(Октаден-4,7-ил) циклопропан, <i>транс</i>	—	—	1083,3
1-Этил-2- <i>n</i> -гексилциклопропан, <i>транс</i>	—	—	1656,6
1-Этил-2- <i>n</i> -гексилциклопропан, <i>цис</i>	—	—	1087,2
1-(Пропен-2-ил)-2-пентилциклопропан, <i>транс</i>	—	—	1038,0
1-(Пропен-2-ил)-2(пентен-4-ил) циклопропан, <i>транс</i>	—	—	1022,2
<i>n</i> -Нонилциклопропан	—	—	—
1,6-Дициклопропилгексан	—	—	1231,2
1-Циклопропил-3(2-этилциклопропил) пропан, <i>транс</i>	—	—	1168,1
Ди (циклопропил, 2- <i>n</i> -бутилциклопропил) метан, <i>транс</i>	—	1166,8	1170,1
1-Циклопропил-3(2-пропен-2-ил) циклопропил) пропан, <i>транс</i>	—	—	1162,0
Ди (циклопропил (2-бутен-3-ил) циклопропил) метан, <i>транс</i>	—	—	1156,9
<i>n</i> -Децилциклопентан	—	—	—
1-Этил-2-метил-2- <i>n</i> -гептилциклопропан, <i>транс</i>	—	—	1208,2
1-Этил-2-метил-2- <i>n</i> -гептилциклопропан, <i>цис</i>	—	—	1218,6
1- <i>n</i> -Гексил-2-метил-2- <i>n</i> -пропилциклопропан, <i>транс</i>	—	—	1204,4
1- <i>n</i> -Гексил-2-метил-2- <i>n</i> -пропилциклопропан, <i>цис</i>	—	—	1214,4
1- <i>n</i> -Пропил-2-метил-2- <i>n</i> -гексилциклопропан, <i>транс</i>	—	—	1198,6
1- <i>n</i> -Пропил-2-метил-2- <i>n</i> -гексилциклопропан, <i>цис</i>	—	—	1211,6
1- <i>n</i> -Пентил-2-метил-2- <i>n</i> -бутилциклопропан, <i>транс</i>	—	—	1194,4
1- <i>n</i> -Пентил-2-метил-2- <i>n</i> -бутилциклопропан, <i>цис</i>	—	—	1206,5
Ди (циклопропил, 2- <i>n</i> -гексилциклопропил) метан, <i>транс</i>	—	—	1264,8

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали. Schomburg G., Dielmann G. — Anal. Chem., 1973, v. 45, N 9, p. 1647—1658.

Г. Циклопентан и его производные. Индексы Ковачи

Сорбат	Сквалан			Полипропиленгликоль		
	60 °С	80 °С	100 °С	60 °С	80 °С	100 °С
Циклопентан	567,4	570,2	592,9	592,4	596,2	599,6
Метилциклопентан	629,4	633,0	636,0	649,9	654,3	659,5
1-Метилциклопентан-1	—	684,4	650,4	—	—	—
5-Метилциклопентан-2	—	607,4	610,7	—	—	—
Этилциклопентан	735,8	739,8	743,9	756,1	761,4	767,0
1-Этилциклопентан-1	—	749,9	752,0	—	—	—
Этилденилциклопентан	—	772,3	776,1	—	—	—
1,1-Диметилциклопентан	675,2	679,1	683,71	689,6	694,6	700,0
1,2-Диметилциклопентан, <i>транс</i>	691,01	694,5	697,4	705,4	709,8	712,5
1,2-Диметилциклопентан, <i>цис</i>	723,0	727,6	732,5	743,6	749,4	755,4
1,3-Диметилциклопентан, <i>цис</i>	688,6	692,2	697,4	701,9	706,6	712,5
1,3-Диметилциклопентан, <i>транс</i>	684,4	687,9	692,3	697,6	702,1	706,4
1,3-Диметилциклопентан, <i>цис</i>	—	706,0	709,4	—	753,8	757,4
1-Метил-3-метиленциклопентан	832,3	836,2	840,2	851,9	857,0	862,5
<i>n</i> -Пропилциклопентан	814,9	820,1	825,4	832,6	839,4	846,3
Изопропилциклопентан	—	838,3	840,8	—	—	—
1- <i>n</i> -Пропилциклопентан-1	—	853,6	856,6	—	—	—
Пропилденилциклопентан	796,6	801,6	806,8	814,3	820,6	827,2
1-Метил-1-этилциклопентан	793,2	797,0	801,0	807,9	812,9	817
1-Метил-2-этилциклопентан, <i>транс</i>	823,4	828,2	833,2	843,6	849,8	856,5
1-Метил-2-этилциклопентан, <i>цис</i>	792,7	796,9	801,2	806,1	811,3	817,3
1-Метил-3-этилциклопентан, <i>транс</i>	790,0	793,9	798,1	803,1	807,9	813,2
1-Метил-3-этилциклопентан, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	—

Сорбат	Сквалан					Полипропиленгликоль				
	60 °С	80 °С	100 °С	120 °С	$\delta l/\delta T$	60 °С	80 °С	100 °С	120 °С	$\delta l/\delta T$
<i>n</i> -Бутилциклопентан	936,0	934,0	937,9	941,8	3,92	950,0	955,2	960,1	966,1	5,65
Изобутилциклопентан	—	891,7	894,7	897,8	2,49	—	935,7	939,6	943,5	3,91
<i>втор</i> -Бутилциклопентан	921,6	926,9	932,4	937,6	5,43	941,6	948,6	956,1	963,3	7,50
1- <i>n</i> -Бутилциклопентен-1	—	937,1	940,1	—	3,0	—	—	—	—	—
Бутилиденциклопентан	—	945,9	949,4	—	3,5	—	—	—	—	—
Изобутилиденциклопентан	—	916,9	919,5	922,4	2,60	—	969,5	973,1	976,8	3,60
1-Метил-1- <i>n</i> -пропилциклопентан	884,3	889,3	893,5	898,8	4,12	899,9	906,2	912,8	948,8	6,58
1-Метил-2- <i>n</i> -пропилциклопентан, <i>транс</i>	884,3	888,2	892,0	896,9	3,86	898,1	903,0	908,3	913,8	14,7
1-Метил-2- <i>n</i> -пропилциклопентан, <i>цис</i>	913,4	918,0	922,6	927,2	4,60	933,1	939,0	945,5	951,5	6,44
1-Метил-3- <i>n</i> -пропилциклопентан, <i>транс</i>	887,0	891,1	894,9	898,9	3,88	899,9	904,7	910,3	913,8	5,57
1-Метил-3- <i>n</i> -пропилциклопентан, <i>цис</i>	885,6	889,4	893,5	898,9	4,12	898,1	903,0	908,3	913,8	5,38
1-Метил-3-изопропилциклопентан	891,5	895,9	900,1	904,4	4,23	907,9	913,3	919,1	924,5	5,78
1-Метил-2- <i>n</i> -пропилциклопентан	—	908,9	912,4	—	3,5	—	—	—	—	—
5-Метил-1-пропилциклопентан	—	891,5	894,7	—	3,2	—	—	—	—	—
<i>n</i> -Пентилциклопентан	—	1033,0	1037,3	1041,1	4,26	—	1054,6	1060,1	1065,5	5,49
Изопентилциклопентан	—	998,4	1003,3	1007,8	4,87	—	1018,6	1024,7	1030,8	6,15
<i>втор</i> -Пентилциклопентан	—	1014,0	1019,4	1024,3	5,46	—	1035,4	1042,3	1049,1	6,95
(1-Изопентил)циклопентен	—	1001,4	1004,7	—	3,3	—	—	—	—	—
(2-Метилбутил)циклопентен	—	992,8	997,3	—	4,5	—	—	—	—	—
<i>n</i> -Пентилиденциклопентан	—	1045,0	1048,0	—	3,9	—	—	—	—	—
Изопентилиденциклопентан	—	1003,4	1007,5	—	4,1	—	—	—	—	—
(1- <i>n</i> -Пентил)циклопентен	—	1034,4	1037,1	—	2,7	—	—	—	—	—
1-(Пентен-4-ил)циклопентен	—	—	1020,7	—	—	—	—	—	—	—
1-Метил-1- <i>n</i> -бутилциклопентан	—	981,9	987,1	991,0	5,22	—	1000,6	1005,8	1012,4	5,28
1-Метил-2- <i>n</i> -бутилциклопентан, <i>транс</i>	—	983,1	987,1	991,0	4,01	—	998,73	1003,8	1008,7	5,10
1-Метил-2- <i>n</i> -бутилциклопентан, <i>цис</i>	—	1012,5	1017,3	1021,6	4,83	—	1034,2	1040,3	1046,3	6,08
1-Метил-3- <i>n</i> -бутилциклопентан, <i>транс</i>	—	988,4	992,6	996,30	4,18	—	1002,5	1007,6	1012,4	5,11
1-Метил-3- <i>n</i> -бутилциклопентан, <i>цис</i>	—	986,9	991,0	994,7	4,11	—	1000,6	1005,8	1010,7	5,28
1-Метил-3-изобутилциклопентан	—	948,06	952,29	956,49	4,23	—	957,1	962,1	967,1	4,9
1-Метил-3-изобутилиденциклопентан	—	943,98	946,55	950,34	2,57	—	980,2	983,6	987,1	3,34
(2-Метилбутилиден)циклопентан	—	979,1	983,4	—	4,3	—	—	—	—	—
1-Метил-2- <i>n</i> -бутилциклопентан	—	—	1006,8	—	—	—	—	—	—	—
5-Метил-1- <i>n</i> -бутилциклопентан	—	—	890,5	—	—	—	—	—	—	—
<i>n</i> -Гексилциклопентан	—	1133,2	1137,5	1141,4	4,32	—	1154,8	1160,5	1165,6	5,6

Сорбат	Сквалан					Полипропиленгликоль				
	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	$dI/dT$	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C	$dI/dT$
(2-Метилпентил)циклопентан	—	995,6	1000,0	1004,0	4,43	—	1014,4	1019,8	1025,2	5,44
этор-Гексилциклопентан	—	1108,1	1113,6	1118,5	5,46	—	1129,8	1136,8	1143,1	7,01
(3-Метилпентил)циклопентан	—	1100,1	1105,0	1109,4	4,90	—	1121,4	1127,6	1133,1	6,19
(4-Метилпентил)циклопентан	—	1095,0	1099,7	1103,9	4,67	—	1113,5	1119,6	1124,6	5,80
1-Метил-1- <i>n</i> -пентилциклопентан	—	1078,2	1083,1	1088,4	4,90	—	1096,4	1102,8	1109,4	6,35
1-Метил-2- <i>n</i> -пентилциклопентан, <i>транс</i>	—	1080,6	1084,7	1088,4	4,07	—	1096,4	1101,4	1106,0	5,02
1-Метил-2- <i>n</i> -пентилциклопентан, <i>цис</i>	—	1110,6	1115,6	1119,9	4,98	—	1132,4	1138,6	1144,0	6,28
1-Метил-3- <i>n</i> -пентилциклопентан, <i>транс</i>	—	1087,0	1091,2	1095,2	4,12	—	1101,3	1106,6	1111,3	5,34
1-Этил-2- <i>n</i> -бутилциклопентан	—	—	1083,1	1087,1	—	—	—	1099,1	1103,9	—
1-Метил-3- <i>n</i> -пентилциклопентан, <i>цис</i>	—	1085,9	1089,9	1093,6	3,85	—	1099,6	1104,8	1109,4	5,25
(2-Метилгексил)циклопентан	—	1086,3	1091,1	1096,2	4,72	—	1105,7	1111,6	1116,8	5,94

При меч а н и с е Индексы Ковача рассчитывали по данным удерживания на капиллярных колонках длиной 100 м, изготовленных из стекла или нержавеющей стали. Значения, определенные на полипропиленгликоле, не могут трактоваться как воспроизводимые: они имеют ценность не как абсолютные значения индексов Ковача, а скорее как разность индексов при выборе в качестве стандарты одного из циклопан Адсорбция циклопан на границе газ-жидкость сравнительно невелика, что позволяет использовать величины удерживания циклопан, но ни в каком случае — величины удерживания *n*-парафинов, которые служат в качестве стандартов в системе индексов Ковача. Поэтому желательно использовать данные удерживания парафинов из экспериментально определенных величин.

Diekmann G., Schlotzkyers D., Schlotzky G. — Chromatography, 1974, v. 7, N. 9, p. 215—221.

### Д. Производные циклопентана. Индексы Ковача и значения $dI/dT$ на сквалане

Сорбат [1]	<i>I</i>	<i>T</i> , °C	$dI/dT$	Интервал температур, °C
Винилциклопентан	710,1	27	0,197	27—86
1,2,3-Триметилциклопентан, <i>транс</i> , <i>цис</i>	744,5	27	0,161	27—86
	747,8	50	0,165	50—70
	759,0	30	—	—
1,2,4-Триметилциклопентан, <i>транс</i> , <i>цис</i>	738,0	30	—	—
	741,1	50	0,169	50—70
	744,0	30	—	—
1,2,4-Триметилциклопентан, <i>цис</i> , <i>транс</i>	774,3	27	0,227	27—86

Сорбат	30 °C [2]	50 °C [2]	75 °C [3]
1,2,3-Триметилциклопентан, <i>цис</i> , <i>цис</i>	797	803	—
1,2,3-Триметилциклопентан, <i>цис</i> , <i>транс</i>	774	779	—
1,2,3-Триметилциклопентан, <i>транс</i> , <i>транс</i>	744	748	—
1,2,4-Триметилциклопентан, <i>цис</i> , <i>цис</i>	—	773	—
1,2,4-Триметилциклопентан, <i>транс</i> , <i>цис</i>	768	773	—
1,1-Диметил-3-этилциклопентан	—	—	830
1,2-Диметил-2-этилциклопентан	—	—	853
1,4-Диметил-2-этилциклопентан	—	—	874
1,1,2,4-Тетраметилциклопентан	—	—	816
1,1,3,5-Тетраметилциклопентан	—	—	899

1. Schroder H. — J. High Resolut. Chromatogr. & Chromatogr. Commun., 1980, v. 3, N 10, p. 362—370.

2. Tourres D. A. — J. Chromatogr., 1967, v. 30, N 2, p. 357—377.

3. Лулова Н. И. и др. — Труды ВНИИ НП. М., 1976, вып. 18, с. 35—43.

Пр и м е ч а н и е. Все данные измерены на капиллярных колонках.

### Е. Производные циклогексана. Относительное удерживание на сквалане при 120 °C (стандарт — 1,1,3,5-тетраметилциклогексан, *цис*)

Сорбат	100r
1,1,2,3-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	169
1,1,2,3-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	179
1,1,2,4-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	148
1,1,2,4-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	137
1,1,2,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	137
1,1,2,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	148
1,1,2,6-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	161
1,1,2,6-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	160
1,1,3,4-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	114
1,1,3,4-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	137
1,1,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	117
1,2,3,4-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i> , <i>транс</i> , <i>транс</i>	159
1,2,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i> , <i>транс</i> , <i>транс</i>	151
1,2,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i> , <i>цис</i> , <i>цис</i>	155
1,2,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i> , <i>транс</i> , <i>цис</i>	159
1,2,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i> , <i>цис</i> , <i>транс</i>	180
1,2,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i> , <i>цис</i> , <i>транс</i>	138

Сорбат	100г
1,2,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис, цис, цис</i>	160
1,2,4,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс, транс, транс</i>	143
1,2,4,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс, цис, транс</i>	135
1,2,4,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис, цис, транс</i>	152
1,1-Диметил-2-этилциклогексан	176
1,1-Диметил-3-этилциклогексан	140
1,1-Диметил-4-этилциклогексан	149
1,2-Диметил-3-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	187
1,2-Диметил-3-этилциклогексан, <i>транс, цис</i>	208
1,2-Диметил-3-этилциклогексан, <i>цис, транс</i>	216
1,2-Диметил-3-этилциклогексан, <i>цис, цис</i>	217
1,2-Диметил-4-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	176
1,2-Диметил-4-этилциклогексан, <i>транс, цис</i>	169
1,2-Диметил-4-этилциклогексан, <i>цис, транс</i>	194
1,2-Диметил-4-этилциклогексан, <i>цис, цис</i>	193
1,3-Диметил-2-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	185
1,3-Диметил-2-этилциклогексан, <i>транс, цис</i>	202
1,3-Диметил-2-этилциклогексан, <i>цис, цис</i>	208
1,3-Диметил-4-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	176
1,3-Диметил-4-этилциклогексан, <i>транс, цис</i>	169
1,3-Диметил-4-этилциклогексан, <i>цис, транс</i>	180
1,3-Диметил-4-этилциклогексан, <i>цис, цис</i>	179
1,3-Диметил-5-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	159
1,3-Диметил-5-этилциклогексан, <i>цис, транс</i>	151
1,3-Диметил-5-этилциклогексан, <i>цис, цис</i>	145
1,4-Диметил-2-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	172
1,4-Диметил-2-этилциклогексан, <i>транс, цис</i>	160
1,4-Диметил-2-этилциклогексан, <i>цис, транс</i>	183
1,4-Диметил-2-этилциклогексан, <i>цис, цис</i>	182
1,3-Диэтилциклогексан, <i>цис</i>	197
1,4-Диэтилциклогексан, <i>транс</i>	212
1-Метил-3- <i>н</i> -пропилциклогексан, <i>цис</i>	182
1-Метил-4- <i>н</i> -пропилциклогексан, <i>транс</i>	188
1-Метил-3-изопропилциклогексан, <i>цис</i>	174
1-Метил-4-изопропилциклогексан, <i>транс</i>	188

Примечание. Данные измерены на медной капиллярной колонке. Захаренко В. А. и др. — Нефтехимия, 1969, т. 9, № 5, с. 656—665.

Ж. Производные циклогексана. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	30 °C [1]	50 °C [1]	70 °C [1]	75 °C [2]	80 °C [3]	100 °C [4]
Циклогексан	660	663	667	—	668	674
Метилциклогексан	721	726	731	—	733	736
Этилциклогексан	—	834	840	—	842	847
1,1-Диметилциклогексан	781	787	793	—	794	—
1,2-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	829	829	—	—	—	—
1,2-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	797	802	808	—	809	—
1,3-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	781	786	791	—	—	—
1,3-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	801	806	811	—	—	—
1,4-Диметилциклогексан, <i>цис</i>	799	806	811	—	—	—

Сорбат	30 °C [1]	50 °C [1]	70 °C [1]	75 °C [2]	80 °C [3]	100 °C [4]
1,4-Диметилциклогексан, <i>транс</i>	781	786	791	—	800	—
<i>н</i> -Пропилциклогексан	—	—	—	—	931	—
Изопропилциклогексан	—	—	—	—	923	—
1,1,2-Триметилциклогексан	876	884	—	891	900	—
1,1,3-Триметилциклогексан	835	841	—	847	—	—
1,1,4-Триметилциклогексан	—	—	—	850	—	—
1,2,3-Триметилциклогексан, <i>цис, цис</i>	—	—	—	911	920	—
1,2,3-Триметилциклогексан, <i>транс, цис</i>	—	—	—	908	—	—
1,2,3-Триметилциклогексан, <i>транс, транс</i>	—	—	—	887	888	—
1,2,4-Триметилциклогексан, <i>цис, цис</i>	—	—	—	891	—	—
1,2,4-Триметилциклогексан, <i>цис, транс</i>	—	—	—	893	—	—
1,2,4-Триметилциклогексан, <i>транс, транс</i>	—	—	—	867	—	—
1,3,5-Триметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	850	—	—
1,3,5-Триметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	868
<i>н</i> -Бутилциклогексан	—	—	—	—	1029	—
Изобутилциклогексан	—	—	—	—	983	—
1-Метил-3-изопропилциклогексан	—	—	—	—	—	972
1,3-Диэтилциклогексан	—	—	—	—	—	1000
1,1-Диметил-2-этилциклогексан	—	—	—	978	—	—
1,1-Диметил-3-этилциклогексан	—	—	—	945	—	—
1,2-Диметил-3-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	—	—	—	995	—	—
1,2-Диметил-4-этилциклогексан, <i>транс, цис</i>	—	—	—	971	—	—
1,3-Диметил-2-этилциклогексан, <i>транс, цис</i>	—	—	—	995	—	—
1,3-Диметил-4-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	—	—	—	997	—	—
1,4-Диметил-2-этилциклогексан, <i>цис, транс</i>	—	—	—	984	—	—
1,4-Диметил-3-этилциклогексан, <i>транс, транс</i>	—	—	—	977	—	—
1,1,2,3-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	971	—	—
1,1,2,4-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	941	—	—
1,1,2,4-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	951	—	—
1,1,2,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	951	—	—
1,1,2,5-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	941	—	—
1,1,3,4-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	941	—	—
1,1,3,4-Тетраметилциклогексан, <i>транс</i>	—	—	—	916	—	—
1,1,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис</i>	—	—	—	902	—	—
1,2,3,4-Тетраметилциклогексан, <i>цис, цис, транс</i>	—	—	—	992	—	—
1,2,3,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис, цис, транс</i>	—	—	—	983	—	—
1,2,4,5-Тетраметилциклогексан, <i>цис, транс, цис</i>	—	—	—	983	—	—

1. Rijks J. A., Berg J. H. M., Diependaal J. P. — J. Chromatogr., 1974, v. 91, p. 603—612.  
 2. Тулова Н. И. и др. — Труды ВНИИ НП, М., 1976, вып. 18, с. 35—43.  
 3. Schomburg G. — J. Chromatogr., 1966, v. 23, N 1, p. 45—64.  
 4. Mitra G. D., Mohan G., Sinha A. — J. Chromatogr., 1974, v. 99, p. 215—230.

Примечание. Все данные измерены на капиллярной колонке.

3. Цикланы C<sub>7</sub>—C<sub>14</sub>. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	70 °C	80 °C	100 °C	120 °C
	[1]	[1]	[1]	[1]
Циклогептан	—	804	811	816
Метилциклогептан	864	869	—	—
Этилциклогептан	—	—	973	—
1,1-Диметилциклогептан	916	—	—	—
1,2-Диметилциклогептан, <i>цис</i>	961	—	—	—
1,2-Диметилциклогептан, <i>транс</i>	941	—	—	—
1,3-Диметилциклогептан, <i>цис</i>	927	—	—	—
1,3-Диметилциклогептан, <i>транс</i>	920	—	—	—
1,4-Диметилциклогептан, <i>цис</i>	926	—	—	—
1,4-Диметилциклогептан, <i>транс</i>	922	—	—	—
Циклооктан	—	925	933	940
Метилциклооктан	—	—	—	999
1,1-Диметилциклооктан	1046	—	—	—
1,2-Диметилциклооктан, <i>цис</i>	1075	—	—	—
1,2-Диметилциклооктан, <i>транс</i>	1069	—	—	—
1,3-Диметилциклооктан, <i>цис</i>	1044	—	—	—
1,3-Диметилциклооктан, <i>транс</i>	1046	—	—	—
1,4-Диметилциклооктан, <i>цис</i>	1054	—	—	—
1,4-Диметилциклооктан, <i>транс</i>	1052	—	—	—
1,5-Диметилциклооктан, <i>цис</i>	1049	—	—	—
1,5-Диметилциклооктан, <i>транс</i>	1055	—	—	—
<i>n</i> -Пропилциклооктан	—	—	—	1166
Циклононан	—	—	—	1049
Метилциклононан	—	—	—	1136
Циклодекан	—	—	1141	1147
Метилциклодекан	—	—	1195	1202
Циклоундекан	—	—	—	1235
Метилциклоундекан	—	—	—	1288
Циклододекан	—	—	—	1326
Метилциклододекан	—	—	—	1379

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали. Schomburg G. — J. Chromatogr., 1966, v. 23, N 1, p. 1—17, 45—64.

И. Циклоолефины. Индексы Ковача на сквалане

Сорбат	30 °C	50 °C	70 °C	80 °C	—100 °C		120 °C
	[1]	[1]	[1]	[2]	[3]	[4]	[4]
Циклопентен	545	548	551	551	—	557	559
1-Метилциклопентен	641	645	647	648	—	650	660
3-Метилциклопентен	600	603	607	607	—	611	—
4-Метилциклопентен	—	610	—	—	—	—	—
1-Этилциклопентен	744	747	749	749	—	752	—
3-Этилциклопентен	712	714	716	—	—	—	—
1,2-Диметилциклопентен	741	743	—	—	—	—	—
1- <i>n</i> -Пропилциклопентен	—	—	839	838	—	841	—
3- <i>n</i> -Пропилциклопентен	—	—	—	816	—	—	—
1-Изопропилциклопентен	—	—	—	812	—	—	—
3-Изопропилциклопентен	—	—	—	800	—	—	—
1- <i>n</i> -Бутилциклопентен	—	—	—	938	—	940	—
3- <i>n</i> -Бутилциклопентен	—	—	—	914	—	—	—
1-Метил-2- <i>n</i> -пропилциклопентен-1	—	—	—	909	—	912	—

Продолжение табл. III.10. И

Сорбат	30 °C	50 °C	70 °C	80 °C	—100 °C		120 °C
	[1]	[1]	[1]	[2]	[3]	[4]	[4]
1-Метил-2- <i>n</i> -пропилциклопентен-2	—	—	—	891	—	895	—
(1- <i>n</i> -Пентил)циклопентен	—	—	—	1037	—	1040	—
Циклопентен-1-ил-2-метил-бутан	—	—	—	993	—	997	—
Циклопентен-1-ил-3-метил-бутан	—	—	—	1001	—	1005	—
1-Метил-2- <i>n</i> -бутилциклопентен-1	—	—	—	—	—	1007	—
Циклогексен	667	673	—	—	676	683	689
1-Метилциклогексен	758	763	766	—	769	—	781
3-Метилциклогексен	727	735	736	—	—	—	—
4-Метилциклогексен	727	734	742	—	743	—	—
1-Этилциклогексен	—	—	861	—	864	—	—
3-Этилциклогексен	—	—	—	—	849	—	—
4-Этилциклогексен	—	—	—	—	851	—	—
1- <i>n</i> -Пропилциклогексен	—	—	—	—	949	—	—
3- <i>n</i> -Пропилциклогексен	—	—	—	—	944	—	—
4- <i>n</i> -Пропилциклогексен	—	—	—	—	945	—	—
1-Изопропилциклогексен	—	—	—	—	929	—	—
3-Изопропилциклогексен	—	—	—	—	921	—	—
1- <i>n</i> -Бутилциклогексен	—	—	—	—	1047	—	—
3- <i>n</i> -Бутилциклогексен	—	—	—	—	1041	—	—
4- <i>n</i> -Бутилциклогексен	—	—	—	—	1042	—	—
1-Изобутилциклогексен	—	—	—	—	1001	—	—
3-Изобутилциклогексен	—	—	—	—	998	—	—
3- <i>втор</i> -Бутилциклогексен	—	—	—	—	1029	—	—
Циклогептен	—	—	—	785	—	794	800
1-Метилциклогептен	—	—	862	—	—	—	874
3-Метилциклогептен	—	—	847	—	—	—	—
4-Метилциклогептен	—	—	849	—	—	—	—
5-Метилциклогептен	—	—	851	—	—	—	—
Циклоктен	—	—	—	895	—	905	913
1-Метилциклоктен	—	—	—	969	—	978	983
3-Метилциклоктен	—	—	—	—	—	958	—
4-Метилциклоктен	—	—	—	—	—	963	—
5-Метилциклоктен	—	—	—	—	—	973	—
Циклононен, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1029	—
Циклононен, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1024	—
1-Метилциклононен	—	—	—	—	—	1162	—
Циклодецен, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	1123	1130
Циклодецен, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	1115	1122
1-Метилциклодецен	—	—	—	—	—	1195	1200
Циклоундецен, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	—	1223
Циклоундецен, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	—	1214
1-Метилциклоундецен	—	—	—	—	—	—	1292
Циклододецен, <i>цис</i>	—	—	—	—	—	—	1315
Циклододецен, <i>транс</i>	—	—	—	—	—	—	1306
1-Метилциклододецен	—	—	—	—	—	—	1392

1. Loewenguth J. C., Tourres D. A. — Z. anal. Chem., 1968, B. 236, S. 170—191.  
 2. Schomburg G. — J. Chromatogr., 1966, v. 23, N 1, p. 45—64.  
 3. Орав А., Эйзен О. — Изв. АН Эст. ССР. Химия, геология, 1972, т. 21, № 1, с. 39—47.  
 4. Schomburg G. — Anal. chim. acta, 1967, v. 38, N 1—2, p. 45—64; Dieltmann G., Schomburg G., Schwengers D. — Chromatographia, 1974, v. 7, N 9, p. 215—224.  
 Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали.

Сорбат	50 [1]	67 [2]	70 [3]	86 [2]	100 [4]
Циклопентадиен	—	527	—	530	—
2-Метилциклопентадиен	—	627	—	—	—
3-Метилциклопентадиен	—	628	—	—	—
Циклогексадиен-1,3	656	659	655	663	—
Циклогексадиен-1,4	692	694	694	698	—
Циклооктадиен-1,3	—	—	889	—	—
Циклооктадиен-1,4	—	—	895	—	—
Циклооктадиен-1,5	—	—	915	—	923
1-Метилциклооктадиен	—	—	—	—	908
3-Метилциклооктадиен	—	—	—	—	978

1 Gas Chromatographia Data Compilation/Ed. Schupp E., Lewis J. S. Supplement I, Philadelphia, ASTM, 1971, p. 503.  
 2. Hively R. A., Hinton R. E. — J. Gas Chromatogr., 1968, v. 6, N 4, p. 203—217.  
 3. Schomburg G. — J. Chromatogr., 1966, v. 23, N 1, p. 45—64.  
 4. Schomburg G. — Anal. chim. acta, 1967, v. 38, N 1—2, p. 45—64.

Примечание. Данные измерены на капиллярной колонке из нержавеющей стали.

Таблица III.11. Углеводороды ароматические

А. Бензол и его производные. Удельные объемы удерживания на эфирах фталевой кислоты (пересчитанные на температуру колонки)

Сорбат	T, °C	ДФФ	ДИПФ	ДАФ	ДБФ	ДВБФ	ДИБФ	ДГФ	ДОФ
Бензол	120	50,7	50,8	45,5	50,7	50,7	47,9	49,2	46,8
	130	42,1	42,3	—	41,9	42,2	39,9	40,7	38,7
	140	35,4	35,6	—	35,2	35,5	33,4	34,1	32,5
Толуол	120	99,3	98,8	82,4	98,1	95,5	94,5	97,2	95,6
	130	80,3	80,2	—	78,8	77,2	76,0	78,2	77,0
	140	66,3	65,9	—	64,5	63,5	62,4	63,8	62,8
Этилбензол	120	174,8	173,1	141,1	174,1	169,0	168,5	172,0	171,5
	130	137,0	138,0	—	138,6	132,6	132,6	135,5	135,2
	140	110,8	110,0	—	109,7	106,3	106,0	108,4	107,8
о-Ксилол	120	224,0	219,9	186,7	223,8	214,5	218,0	219,0	218,0
	130	176,1	171,5	—	176,0	167,5	170,0	170,3	168,0
	140	142,1	136,8	—	138,1	133,2	134,5	135,4	132,0
м-Ксилол	120	183,0	173,1	146,2	184,7	175,2	174,0	187,5	188,5
	130	144,8	136,8	—	145,6	138,2	137,0	146,0	148,8
	140	114,2	109,1	—	114,9	109,7	108,8	115,0	117,5
п-Ксилол	120	178,0	173,8	142,8	179,1	174,5	175,8	181,5	184,3
	130	140,2	137,7	—	140,7	137,2	138,0	142,5	144,1
	140	112,0	110,2	—	112,3	109,6	111,0	114,2	115,0

ДФФ — ди-*n*-пропилфталат, ДИПФ — диизопропилфталат, ДАФ — диаллилфталат, ДБФ — ди-*n*-бутилфталат, ДВБФ — ди-*втор*-бутилфталат, ДИБФ — диизобутилфталат, ДГФ — ди-*n*-гексилфталат, ДОФ — ди-*n*-октилфталат. Неподвижные фазы (10%) нанесены на хромосорб WAW.  
 Peisev N., Dimitrov C. — J. Chromatogr., 1965, v. 20, N 1, p. 15—27.

Б. Бензол и его производные. Удельные объемы удерживания на эфирах ароматических кислот (пересчитанные на температуру колонки)

Сорбат	T, °C	ДФФ	ДИПФ	ДБФ	ДФЭФ	ДГИФ	ДЦТФ	КДБ	КДБу	ДБФГ
Бензол	120	28,5	39,4	34,0	30,6	46,4	45,0	31,4	45,8	38,9
	130	25,4	33,8	28,2	26,4	38,8	37,8	29,2	39,3	32,4
	140	22,6	28,8	23,9	22,5	32,9	33,7	23,8	34,0	27,4
Толуол	120	55,5	77,5	64,9	59,3	96,5	92,9	61,6	86,1	70,9
	130	47,2	62,8	53,3	48,0	78,2	77,6	52,1	70,5	58,5
	140	40,5	51,2	43,6	39,3	63,2	63,5	43,3	57,0	48,3
Этилбензол	120	93,5	139,8	109,9	99,6	171,0	167,0	105,1	148,3	120,0
	130	79,0	110,0	88,5	80,0	135,0	136,0	85,1	119,9	96,5
	140	68,5	86,5	72,5	64,7	106,7	108,6	69,0	95,2	77,4
о-Ксилол	120	130,6	176,8	147,5	137,0	227,8	229,0	145,0	193,0	158,9
	130	108,0	139,9	117,6	109,0	177,5	181,0	115,2	154,1	125,0
	140	87,7	109,0	95,5	86,6	139,5	141,2	91,2	123,0	99,4
м-Ксилол	120	101,1	147,9	120,7	110,8	194,0	191,5	118,2	158,1	129,0
	130	84,5	119,0	96,4	88,0	152,5	153,2	95,5	127,3	102,2
	140	71,2	94,5	78,3	70,6	120,6	120,7	77,0	102,5	82,7
п-Ксилол	120	99,9	144,0	118,0	107,6	191,1	189,9	112,8	153,5	128,3
	130	83,5	113,2	94,3	85,5	148,5	149,8	90,4	125,3	101,5
	140	70,4	89,5	76,1	68,4	116,6	119,2	73,8	101,0	80,2

ДФФ — дифенилфталат, ДИПФ — дициклогексилфталат, ДБФ — дибензилфталат, ДФЭФ — ди(β-фенилэтил)фталат, ДГИФ — ди-*n*-гексилизофталат, ДГТФ — ди-*n*-гексилтерефталат, КДБ — катехиндибензоат, КДБу — катехиндибутират, ДБФГ — ди(*n*-бутилфталат)бис-гликолят. Неподвижная фаза (17,6%) нанесена на неглазурованную черепицу.  
 Peisev N., Dimitrov C. — J. Chromatogr., 1966, v. 23, N 3, p. 382—392.

В. Алкилбензолы. Относительное удерживание (стандарт — бензол, 100 °C)

Сорбат	Сквалан	Аппезон L	ПЭФ	БФ	ПЭГА	ПЭГ-20M	ПЭГ-100	ТМСП
Толуол	2,13	2,12	2,09	2,26	1,80	1,79	1,74	1,61
Этилбензол	4,00	4,13	3,96	4,25	2,92	2,95	2,83	2,44
<i>n</i> -Пропилбензол	7,32	7,87	7,24	7,94	4,48	4,66	4,37	3,42
<i>n</i> -Бутилбензол	14,72	16,28	13,98	16,60	7,98	8,28	7,62	5,46
<i>n</i> -Пентилбензол	—	33,9	26,4	—	14,79	—	—	—
<i>n</i> -Гексилбензол	—	62,9	52,9	—	23,8	14,32	—	—
Изопропилбензол	5,87	6,34	5,76	6,12	3,73	3,34	3,62	2,87
<i>втор</i> -Бутилбензол	10,32	11,31	10,19	10,79	5,61	5,90	5,46	3,89
<i>трет</i> -Бутилбензол	9,39	10,03	9,10	9,16	5,46	5,58	5,17	3,89
о-Ксилол	5,50	5,60	5,38	6,15	4,15	4,11	3,89	3,52
м-Ксилол	4,48	4,71	4,30	4,98	3,23	3,22	3,01	2,74
п-Ксилол	4,62	4,68	4,14	4,92	3,16	—	2,93	2,60
1,2,3-Триметилбензол	13,93	14,00	14,00	17,36	9,59	—	8,65	7,69
1,2,4-Триметилбензол	11,0	11,71	10,40	13,15	7,18	—	8,30	5,56
1,3,5-Триметилбензол	9,17	10,30	8,73	10,76	5,78	—	5,27	4,20
1,2,4,5-Тетраметилбензол	26,0	29,3	24,0	35,1	15,8	—	13,65	11,29
1,2,3,5-Тетраметилбензол	—	30,8	25,7	—	16,52	—	—	—
Пентаметилбензол	—	94,8	82,7	—	46,3	—	—	—
Гексаметилбензол	—	314	235	—	139,5	—	—	—
1-Метил-2-этилбензол	9,48	10,0	9,46	10,69	6,22	—	5,85	4,70

Продолжение табл. III.11. В

Сорбат	Сквалан	Ализон L	ПФЭ	БФ	ПЭГА	ПЭГ-20М	ПЭГ-400	ТЦЭП
1-Метил-3-этилбензол	8,06	8,61	7,89	8,71	5,02	—	4,69	3,82
1-Метил-4-этилбензол	8,21	8,79	7,82	8,77	5,02	—	4,73	3,85
1-Метил- <i>n</i> -бутилбензол	—	30,6	26,1	—	13,5	—	—	—
1-Метил-4- <i>n</i> -бутилбензол	29,22	32,20	26,40	32,81	13,5	—	12,65	8,37
1-Метил-3- <i>n</i> -гексилбензол	—	122,3	94,4	—	37,9	—	—	—
1-Метил-4- <i>n</i> -гексилбензол	—	132,0	100,0	—	40,0	—	—	—
1,2-Диэтилбензол	15,7	17,0	15,5	17,7	8,97	—	8,45	6,51
1,3-Диэтилбензол	13,8	15,2	13,4	15,5	7,40	—	7,48	5,64
1,4-Диэтилбензол	15,1	16,8	14,25	16,4	7,96	—	7,48	5,64
Гексаэтилбензол	—	807	815	—	205	—	—	—
1-Метил-3-изопропилбензол	11,40	12,40	11,12	12,42	6,35	—	6,00	4,46
1-Метил-4-изопропилбензол	11,90	13,28	11,22	12,79	6,47	—	6,08	4,58
1,3-Динизопропилбензол	—	28,8	12,5	—	10,75	—	—	—
1,4-Динизопропилбензол	—	33,0	29,4	—	13,45	—	—	—
1-Метил-4- <i>трет</i> -бутилбензол	—	20,6	17,4	—	9,38	—	8,47	6,19
1,4-Ди- <i>трет</i> -бутилбензол	74,0	82,7	73,4	73,5	27,1	—	23,2	13,41
1-Изопропил-4- <i>трет</i> -бутилбензол	—	56,1	46,9	—	19,2	—	—	—
1-Этил-3-изопропилбензол	—	21,4	18,5	—	8,95	—	8,43	5,81
1-Этил-4-изопропилбензол	21,6	24,5	20,9	22,5	10,21	—	9,55	6,74
1-Метил-4- <i>втор</i> -пентилбензол	—	50,0	38,6	—	17,7	—	—	—
2-Этил-1,4-диметилбензол	—	20,2	17,0	—	10,6	—	—	—
1,4-Диметил-2,5-динизопропилбензол	—	129	107	—	45,3	—	—	—
Циклогексилбензол	—	109	108,2	—	46,3	—	—	—
Стирол	6,04	5,46	6,20	6,76	5,68	—	5,74	5,28
Аллилбензол	—	7,90	7,90	—	6,18	—	—	—
$\alpha$ -Метилстирол	10,28	10,10	11,04	11,78	8,53	—	8,43	7,06
1-Метил-4-винилбензол	12,5	11,9	12,65	14,9	10,05	—	9,77	8,56
2-Винил-1,4-диметилбензол	—	26,9	25,6	—	17,6	—	16,5	13,3
1,3-Дивинилбензол	32,2	28,2	33,6	41,3	28,5	—	29,1	25,0
1,4-Дивинилбензол	35,5	31,6	37,0	48,0	31,1	—	32,1	27,0

ПФЭ — полифениловый эфир, 5 колец, БФ — бензилдифенил, ПЭГА — этиленгликоль-адипнат, ПЭГ-20М — карбовакс 20М, ПЭГ-400 — полиэтиленгликоль-400, ТЦЭП — 1,2,3-трис-(2-цианэтокси)пропан.

Примечание. Относительные объемы вычисляли по зависимости логарифма от-носительного удерживания от обратной температуры интерполяцией или экстраполяцией. Мельникова С. Л. Канд. дис., Киев, 1971 г.

Артур Николаевич Король

НЕПОДВИЖНЫЕ ФАЗЫ В ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

СПРАВОЧНИК