

АНДРОНИКАШВИЛИ Т.Г., ЭПРИКАШВИЛИ Л.Г., ПИРЦХАЛАВА Н.В.,  
КОРДЗАХИЯ Т.Н., ЗАУТАШВИЛИ М.Г.

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ ПУТЕМ НАСЫЩЕНИЯ  
ГАЗА-НОСИТЕЛЯ ПАРАМИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

З метою підвищення активності звичайного газу-носія (азоту), використовуваного в практиці газової хроматографії, здійснювалося його насичення парами органічних сполук трьох гомологічних рядів: одноатомних спиртів нормальної будови, насичених вуглеводнів нормальної будови і ароматичних вуглеводнів.

Виявлено, що найбільш активними з цих добавок є пари пропанолу, октану і толуолу. У процесах хроматографічного розділення вони виконують не тільки роль елюента, але і витіснявача, сприяючи формуванню вузьких і симетричних кривих розділення і, таким чином, підвищують ефективність хроматографічних колонок. Застосування таких органічних добавок дозволяє добитися розділення сумішей сполук, які в умовах нашого експерименту з використанням звичайного газу-носія — азоту, не розділяються.

С целью повышения активности обычного газа-носителя (азота), используемого в практике газовой хроматографии, осуществлялось его насыщение парами органических соединений трех гомологических рядов: одноатомных спиртов нормального строения, предельных углеводородов нормального строения и ароматических углеводородов.

Выведено, что наиболее активными из этих добавок являются пары пропанола, октана и толуола. В процессах хроматографического разделения они выполняют не только роль элюента, но и вытеснителя, способствуя формированию узких и симметричных кривых разделения и, таким образом, повышают эффективность хроматографических колонок. Применение таких органических добавок позволяет добиться разделения смесей соединений, которые в условиях нашего эксперимента с использованием обычного газа-носителя — азота, не разделяются.

*For the purpose of rising activity of common gas-carrier (nitrogen) which is used in practice of gas chromatography, was accomplished its saturation with vapours of organic compounds of three homologous series: monoatomic alcohols of normal structure, saturated hydrocarbons of normal structure and aromatic hydrocarbons.*

*It has been discovered that the most active of these additions are vapours of propanol, octane and toluene. In the processes of chromatographic separation they carry out not only ro-*

*le of an eluent, but also the one of displacers contributing formation of narrow and symmetrical elution curves and in such a way increasing performance of chromatographic columns. Application of such organic additions allows the separation of these mixtures of the compounds which can't be separated in the conditions of our experiment and through application of the common gas-carrier-nitrogen.*

В период раннего развития газо-жидкостной хроматографии на выбор газа-носителя не обращалось большого внимания, так как считалось, что он оказывает малое влияние на удерживание [1]. Иными словами, он выполнял только роль транспортирующего агента анализируемых соединений. Однако в 70-80 годах прошлого столетия появился ряд работ [2,3] свидетельствующих о том, что природа газа-носителя оказывает значительное влияние на характер разделения анализируемых смесей в варианте газо-жидкостной хроматографии.

Еще более активную роль газ-носитель приобретает, когда в качестве элюента в газовой хроматографии используются органические элюенты или обычные газы-носители с органическими добавками [4, 5]. В этом случае, наряду с ролью транспортирующего агента, они могут выполнять активные функции, способные изменять картину хроматографического разделения веществ, а именно, улучшать форму регистрируемого пика и за счет изменения удерживания веществ, регулировать селективность хроматографической колонки.

Анализ работ [4, 5] показывает, что в большинстве исследований органические добавки выбирались произвольно, исходя, в основном, из их летучести, без определения закономерностей, учитывающих их принадлежность к определенному классу соединений.

Цель настоящего исследования состояла в испытании в качестве органических добавок к газу-носителю некоторых соединений определенных гомологических рядов, для выявления наиболее активного агента, способствующего полному и четкому разделению анализируемых смесей.

### **Экспериментальная часть**

Эксперимент осуществлялся на колонке хроматографа ЛХМ-80. Длина колонки — 4,7 м, внутренний диаметр — 3 мм. Стационарная фаза — 1,2,3 трис (β -цианэтоксид) пропан была нанесена в количестве 15% на твердый носитель целит-545, зернением 50-60 меш. Для вышеприведенной неподвижной жидкости максимальная рабочая температура — 180°C, полярность по Роршнаидеру — 99-100. Неподвижная жидкость хорошо растворима в хлороформе или ацетоне. Нагрев хроматографической колонки — 100°C, режим работы — изотермический, нагрев испарителя — 200°C.

В качестве газа-носителя использовался азот, как в чистом виде (эталон), так и азот, насыщенный соответственно парами следующих органических добавок: 1. метанола, этанола, пропанола, бутанола и пентанола (гомологический ряд одноатомных спиртов нормального строения) 2. гексана, гептана, октана, нонана (гомологический ряд предельных углеводородов нормального строения) и 3. бензола, толуола и этилбензола (гомологический ряд ароматических соединений). Насыщение газа-носителя осуществлялось пропусканием потока азота через барботер, заполненный обезвоженными растворами соответствующих соединений.

Расход газа-носителя составлял 30 мл/мин. Модельными системами служили смеси: А) пентан, гексан, гептан, октан, нонан и декан; Б) бензол, толуол, этилбензол, п-ксилол, м-ксилол и о-ксилол; В) метанол, этанол, пропанол, бутанол, пента-

нол и гексанол. Когда в качестве органических добавок использовались соединения первого гомологического ряда, модельными системами служили А и Б смеси, в случае второго гомологического ряда — Б и В смеси, а в случае третьего гомологического ряда — смеси А и В.

Для характеристики протекающих хроматографических процессов под воздействием органических добавок были вычислены такие основные параметры как величины удерживания, коэффициенты асимметричности, критерии разделения двух- и многокомпонентных смесей и эффективность хроматографических колонок.

Величина параметра удерживания характеризует продолжительность пребывания вещества в хроматографической колонке. Обычно в практике газовой хроматографии для качественной характеристики анализируемых соединений преимущественно используются относительные величины удерживания [6]. Это объясняется тем, что эти величины в меньшей степени зависят от условий эксперимента: скорости газа-носителя, количества сорбента, длины колонки и т.д.

В данном случае относительное время удерживания — это отношение времени удерживания отдельного компонента к времени удерживания соединения, выбранного в качестве стандарта. Это пентан — для модельной системы А; бензол — для модельной системы Б и метанол — для модельной системы В. Коэффициент асимметричности пика определялся как отношение фронтального участка пика к ширине тылового участка пика на половине высоты пика [7]. Эффективность хроматографической колонки или число теоретических тарелок в колонке определялось по формуле

$$N = 5,54 (l'_R / a_{0,5})^2,$$

где N — число теоретических тарелок;  $l'_R$  — исправленное расстояние удерживания;  $a_{0,5}$  — ширина пика на половине его высоты [8].

Разделение хроматографируемой смеси на отдельные компоненты является основной целью хроматографии. Полноту разделения двухкомпонентных смесей обычно определяют с помощью коэффициента разделения  $K_p$ , который представляет собой отношение времени удерживания каждого последующего элюируемого из колонки компонента ко времени удерживания каждого предыдущего компонента [8]. Для определения полноты и четкости разделения многокомпонентной смеси был использован критерий равномерности разделения ( $\bar{\Delta}$ ), предложенный в свое время профессором М.С.Вигдергаузом [7].

$$\bar{\Delta} = nK\tau K/t$$

где  $n_K$  — число пиков на хроматограмме;

$\tau$  — основание наиболее узкого пика;

$K$  — степень разделения наихудшим образом разделяемой пары компонентов;

$t$  — продолжительность анализа.

Критерий равномерности разделения  $\bar{\Delta}$  изменяется в пределах от 0 до 1, причем, последнему значению соответствует наилучшее "идеальное" разделение.

### ***Результаты и их обсуждение***

Полученные результаты экспериментальных исследований сведены в таблицы 1, 2, 3.

Таблица 1

Влияние наиболее активных органических добавок из трех гомологических рядов на величины основных параметров, характеризующих процесс хроматографического разделения, газ-носитель — азот

| Сорбат                                                                | Первый гомологический ряд – пропанол |                |       |                |       |                | Второй гомологический ряд – октан |                 |       |                 |       |                 | Третий гомологический ряд - толуол |                  |       |                  |       |                  |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-----------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|------------------------------------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|
|                                                                       | t                                    |                | Ka    |                | N*    |                | t                                 |                 | Ka    |                 | N*    |                 | t                                  |                  | Ka    |                  | N*    |                  |
|                                                                       | $N_2$                                | $N_2+C_3H_7OH$ | $N_2$ | $N_2+C_3H_7OH$ | $N_2$ | $N_2+C_3H_7OH$ | $N_2$                             | $N_2+C_8H_{18}$ | $N_2$ | $N_2+C_8H_{18}$ | $N_2$ | $N_2+C_8H_{18}$ | $N_2$                              | $N_2+C_6H_5CH_3$ | $N_2$ | $N_2+C_6H_5CH_3$ | $N_2$ | $N_2+C_6H_5CH_3$ |
| А) пентан<br>гексан<br>гептан<br>октан<br>нонан<br>декан              | 1.00                                 | 1.00           | 0.82  | 0.90           | 2315  | 2886           |                                   |                 |       |                 |       |                 | 1.00                               | 1.00             | 0.82  | 0.88             | 2315  | 2512             |
|                                                                       | 1.08                                 | 1.01           | 0.80  | 0.87           | 2373  | 2936           |                                   |                 |       |                 |       |                 | 1.08                               | 1.05             | 0.80  | 0.83             | 2373  | 2563             |
|                                                                       | 1.16                                 | 1.07           | 0.60  | 0.77           | 2538  | 3197           |                                   |                 |       |                 |       |                 | 1.16                               | 1.13             | 0.60  | 0.74             | 2538  | 2613             |
|                                                                       | 1.31                                 | 1.24           | 0.55  | 0.73           | 2582  | 3263           |                                   |                 |       |                 |       |                 | 1.31                               | 1.24             | 0.55  | 0.67             | 2582  | 2696             |
|                                                                       | 1.50                                 | 1.42           | 0.45  | 0.70           | 2673  | 3397           |                                   |                 |       |                 |       |                 | 1.50                               | 1.43             | 0.45  | 0.60             | 2673  | 2809             |
|                                                                       | 1.94                                 | 1.86           | 0.40  | 0.67           | 2705  | 3507           |                                   |                 |       |                 |       |                 | 1.94                               | 1.76             | 0.40  | 0.58             | 2705  | 2855             |
|                                                                       |                                      |                |       |                |       |                |                                   |                 |       |                 |       |                 |                                    |                  |       |                  |       |                  |
| Б) бензол<br>толуол<br>этилбензол<br>п-ксилол<br>м-ксилол<br>о-ксилол | 1.00                                 | 1.00           | 0.70  | 0.87           | 2248  | 2893           | 1.00                              | 1.00            | 0.70  | 0.90            | 2248  | 2924            |                                    |                  |       |                  |       |                  |
|                                                                       | 1.48                                 | 1.43           | 0.66  | 0.85           | 2385  | 2993           | 1.48                              | 1.43            | 0.66  | 0.87            | 2385  | 3106            |                                    |                  |       |                  |       |                  |
|                                                                       | 1.97                                 | 1.86           | 0.60  | 0.80           | 2460  | 3112           | 1.97                              | 1.94            | 0.60  | 0.83            | 2460  | 3188            |                                    |                  |       |                  |       |                  |
|                                                                       | 2.08                                 | 2.00           | 0.67  | 0.83           | 2554  | 3263           | 2.08                              | 2.04            | 0.67  | 0.85            | 2554  | 3314            |                                    |                  |       |                  |       |                  |
|                                                                       | 2.11                                 | 2.04           | 0.65  | 0.80           | 2612  | 3405           | 2.11                              | 2.09            | 0.65  | 0.83            | 2612  | 3412            |                                    |                  |       |                  |       |                  |
|                                                                       | 2.73                                 | 2.55           | 0.63  | 0.77           | 2716  | 3507           | 2.73                              | 2.70            | 0.63  | 0.80            | 2716  | 3522            |                                    |                  |       |                  |       |                  |
|                                                                       |                                      |                |       |                |       |                |                                   |                 |       |                 |       |                 |                                    |                  |       |                  |       |                  |
| В) метанол<br>этанол<br>пропанол<br>бутанол<br>пентанол<br>гексанол   |                                      |                |       |                |       |                | 1.00                              | 1.00            | 0.50  | 0.80            | 2196  | 2648            | 1.00                               | 0.50             | 0.50  | 0.67             | 2196  | 2390             |
|                                                                       |                                      |                |       |                |       |                | 1.19                              | 1.12            | 0.45  | 0.77            | 2270  | 2753            | 1.19                               | 0.45             | 0.45  | 0.77             | 2270  | 2408             |
|                                                                       |                                      |                |       |                |       |                | 1.67                              | 1.60            | 0.40  | 0.73            | 2315  | 2867            | 1.67                               | 0.40             | 0.40  | 0.60             | 2315  | 2463             |
|                                                                       |                                      |                |       |                |       |                | 2.58                              | 2.50            | 0.35  | 0.68            | 2385  | 2965            | 2.58                               | 0.35             | 0.35  | 0.55             | 2385  | 2484             |
|                                                                       |                                      |                |       |                |       |                | 4.07                              | 3.97            | 0.30  | 0.65            | 2423  | 3043            | 4.07                               | 0.30             | 0.30  | 0.50             | 2423  | 2516             |
|                                                                       |                                      |                |       |                |       |                | 6.07                              | 5.91            | 0.28  | 0.60            | 2460  | 3057            | 6.07                               | 0.28             | 0.28  | 0.47             | 2460  | 2525             |

Таблица 2

**Влияние наиболее активных добавок к газу-носителю из трех гомологических рядов на коэффициенты разделения двухкомпонентных смесей; газ-носитель – азот**

| Бинарная смесь      | Первый гомологический ряд – пропанол |                                                   | Второй гомологический ряд – октан |                                                 | Третий гомологический ряд – толуол |                                                                |
|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                     | N <sub>2</sub>                       | N <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH | N <sub>2</sub>                    | N <sub>2</sub> + C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> | N <sub>2</sub>                     | N <sub>2</sub> + C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> |
| А) пентан - гексан  | 0.88                                 | 1.14                                              |                                   |                                                 | 0.88                               | 0.93                                                           |
| гексан - гептан     | -                                    | -                                                 |                                   |                                                 | -                                  | 0.85                                                           |
| гептан - октан      | 1.22                                 | 1.30                                              |                                   |                                                 | 1.22                               | 1.25                                                           |
| октан - нонан       | 1.09                                 | 1.18                                              |                                   |                                                 | 1.09                               | 1.15                                                           |
| нонан - декан       | 1.28                                 | 1.34                                              |                                   |                                                 | 1.28                               | 1.30                                                           |
| Б) бензол - толуол  | 0.50                                 | 1.51                                              | 0.50                              | 0.90                                            |                                    |                                                                |
| толуол - этилбензол | 0.55                                 | 1.36                                              | 0.55                              | 0.87                                            |                                    |                                                                |
| этилбензол-п-ксилол | 0.64                                 | 1.12                                              | 0.64                              | 0.70                                            |                                    |                                                                |
| п-ксилол - м-ксилол | -                                    | -                                                 | -                                 | 0.55                                            |                                    |                                                                |
| м-ксилол - о-ксилол | 0.70                                 | 1.29                                              | 0.70                              | 0.83                                            |                                    |                                                                |
| В) метанол – этанол |                                      |                                                   | 0.60                              | 0.87                                            | 0.60                               | 0.77                                                           |
| этанол – пропанол   |                                      |                                                   | 0.70                              | 0.90                                            | 0.70                               | 0.83                                                           |
| пропанол – бутанол  |                                      |                                                   | 0.80                              | 0.98                                            | 0.80                               | 0.90                                                           |
| бутанол – пентанол  |                                      |                                                   | 0.83                              | 1.25                                            | 0.83                               | 1.13                                                           |
| пентанол – гексанол |                                      |                                                   | 0.87                              | 1.40                                            | 0.87                               | 1.28                                                           |

Таблица 3

**Влияние наиболее активных из трех гомологических рядов органических добавок к газу-носителю на характер разделения многокомпонентных смесей и критерий равномерности разделения ( $\Delta$ )**

| Модельные системы (шестикомпонентная смесь) |                                                     | Первый гомологический ряд (пропанол) |                                                   | Второй гомологический ряд (октан) |                                                 | Третий гомологический ряд (толуол) |                                                                |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                                             |                                                     | N <sub>2</sub>                       | N <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH | N <sub>2</sub>                    | N <sub>2</sub> + C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> | N <sub>2</sub>                     | N <sub>2</sub> + C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> |
| А)                                          | пентан-гексан-гептан-октан-нонан-декан              | 0.20 <sup>а</sup>                    | 0.40 <sup>а</sup>                                 |                                   |                                                 | 0.20 <sup>а</sup>                  | 0.54                                                           |
| Б)                                          | бензол-толуол-этилбензол-п-ксилол-м-ксилол-о-ксилол | 0.40 <sup>б</sup>                    | 0.55 <sup>б</sup>                                 | 0.40 <sup>б</sup>                 | 0.57                                            |                                    |                                                                |
| В)                                          | метанол-этанол-пропанол-бутанол-пентанол-гексанол   |                                      |                                                   | 0.24                              | 0.42                                            | 0.24                               | 0.40                                                           |

\* Примечания:

а) гексан + гептан элюируются в виде одного пика, т.е. имеет место разделения пятикомпонентной модельной смеси.

б) п+м-ксилолы элюируются одним пиком, т.е. имеет место разделения только пятикомпонентной модельной смеси. В случае а и б имеет место разделения только пятикомпонентной модельной системы, так как не происходит разделение пары компонентов гексан и гептан (а) и пары компонентов п- и м-ксилола (б).



Как следует из ранее выполненной работы [9], использование в качестве органических добавок к газу-носителю (азоту) одноатомных спиртов нормального строения, на примере разделения модельных систем А и Б приводит к некоторому уменьшению относительных времен удерживания всех компонентов, входящих в состав вышеуказанных систем. Воздействие этих добавок возрастает в последовательности: метанол — этанол — пропанол. В такой же последовательности происходит изменение формы пиков на хроматограмме, т.е. наиболее симметричные кривые разделения образуются при использовании в качестве органической добавки пропанола (таблица 1). Симметричность кривых разделения модельной системы А возрастает на 9-64%, а модельной системы Б на 23-24% по сравнению с симметричностью кривых разделения тех же смесей, когда в качестве газа-носителя был использован газ-носитель без органических добавок. Применение более тяжелых по молекулярному весу соединений, таких как бутанол и, особенно, пентанол, приводит к обратному воздействию, т.е. к увеличению величин относительных времен удерживания компонентов обеих модельных систем и к ухудшению симметричности соответствующих пиков на хроматограммах [9]. По всей вероятности, это вызвано тем, что насыщение газ-носителя парами метанола, этанола и особенно пропанола, превращает газ-носитель — элюент в вытеснитель, что способствует образованию более узких и симметричных пиков на хроматограммах. Логическим следствием этого является возрастание эффективности хроматографической колонки, выраженной посредством числа теоретических тарелок (N) (Таблица 1). Эффективность хроматографической колонки в случае использования органической добавки — пропанола для компонентов как А, так и Б модельных систем возрастает в пределах 24-29%. В тоже время, использование в качестве органической добавки бутанола и пентанола вызывает уменьшение эффективности хроматографической колонки. Это, по-видимому, связано, с тем, что бутанол и пентанол характеризуются большей температурой кипения и меньшим давлением насыщенного пара, чем метанол, этанол и пропанол. Поэтому при насыщении газа-носителя бутанолом и пентанолом в процессе элюирования они могут конденсироваться и растворяться в неподвижной жидкости с образованием бинарной неподвижной фазы, понижая ее селективность. Вследствие этого, роль такого элюента как вытеснителя должна в некоторой степени ослабевать.

Следствием сужения пиков на хроматограммах, возрастания их симметричности и эффективности хроматографических колонок под воздействием органической добавки — пропанола, является увеличение коэффициентов разделения отдельных бинарных смесей модельных систем как А, так и Б. Причем, этот положительный эффект в большей степени проявляется для модельной системы Б. Однако, следует отметить, что не наблюдается разделение бинарной смеси гексан-гептан (модельная система А) и пара-мета ксилола (модельная система Б), как при использовании газа-носителя без добавки, так с пропанолом (Табл. 2). Этот факт накладывает свой отпечаток и на разделение шестикомпонентных модельных систем, где имеет место разделение только пятикомпонентной смеси. Гексан-гептан элюируются на хроматограммах единым пиком (модельная смесь А). То же самое происходит для бинарной смеси — пара- и мета- ксилол (модельная система Б). Применение органической добавки — пропанола почти вдвое увеличивает критерий равномерности разделения  $\Delta$  модельной системы А (Таблица 3).

Применение предельных углеводородов нормального строения (второй гомологический ряд, таблица 1) в качестве органических добавок [10] также способствует уменьшению величин относительных времен удерживания и увеличению симметричности пиков на хроматограммах отдельных компонентов модельных систем Б и

В в зависимости от природы органических добавок в следующей последовательности: гексан < гептан < октан, достигая максимума в случае использования октана. При этом, симметричность пиков на хроматограммах, для компонентов модельной системы В возрастает в 1.5–2 раза, по сравнению с пиками, полученными при использовании газа-носителя без органических добавок (Таблица 1). Показано, что для компонентов модельной системы Б влияние природы органических добавок на форму пиков на хроматограммах не так резко выражено, что, вероятно, связано с тем, что кривые разделения этой модельной смеси более симметричны, чем кривые разделения одноатомных спиртов при использовании только чистого газа-носителя.

Однако, как и в случае использования в качестве органических добавок одноатомных спиртов нормального строения [9], применение в качестве добавки более тяжелого углеводорода — нонана, отрицательно сказывается на симметричности пиков на хроматограммах для компонентов модельных систем Б и В, что вызвано меньшей летучестью нонана по сравнению с октаном.

Как и пропанол [9], органическая добавка — октан, способствует повышению эффективности колонки для компонентов модельной системы Б на 7.5 — 13%, а для модельной системы В на 5-12%.

Влияние таких двух факторов как увеличение симметричности пиков на хроматограммах, так и возрастание эффективности хроматографических колонок, под воздействием органической добавки — октан, положительно сказывается на полноте разделения анализируемых смесей. Как видно из данных, приведенных в таблицах 2 и 3, происходит возрастание коэффициентов разделения бинарных смесей и критерия равномерности разделения многокомпонентных смесей обеих модельных систем.

Из литературных источников [7, 11] известно, что разделение такой бинарной смеси как п- и м-ксилол, возможно осуществить на насадочных колонках, с эффективностью 8000 т.т. и выше. В нашем случае, при использовании такой органической добавки как октан, вышеуказанная смесь, может быть разделена, хотя эффективность хроматографической колонки, сравнительно невелика и составляет 3314-3412 т.т. (таблица 1).

Использование органической добавки — октан, позволяет разделить шестикомпонентную модельную систему Б, включая п- и м-ксилол, что не возможно осуществить с помощью добавки пропанола (таблица 2 и 3). Эта же органическая добавка в значительной мере способствует разделению шестикомпонентной смеси, состоящей из одноатомных спиртов, причем критерий равномерности разделения  $\Delta$  увеличивается почти вдвое, по сравнению со значением этого критерия для модельной системы В при использовании в качестве газа-носителя чистого азота.

Использование органических добавок гомологического ряда ароматических углеводородов: бензола, толуола, этилбензола позволило установить, что наибольшей активностью обладают пары толуола. Анализ полученных данных указывает на то, что величины относительных времен удерживания для компонентов модельной системы В, значительно выше, чем для компонентов модельной системы А (Таблица 1). Возможно, это связано с конфигурацией молекул спиртов, которая затрудняет их диффузию в неподвижной фазе, а также, что немаловажно, с взаимодействием гидроксильных групп этих молекул с насадкой хроматографической колонки. Под воздействием этих органических соединений происходит уменьшение относительных времен удерживания компонентов модельных систем как А, так и В, которая возрастает в последовательности: азот < бензол < толуол < этилбензол [12]. Однако наиболее симметричные пики на хроматограммах образуются при использо-

вании в качестве органической добавки толуола (Таблица 1). При этом, соответственно возрастает эффективность хроматографической колонки для компонентов модельной системы А на 5.5 – 8.8%, а модельной системы В – на 7.6 – 8.8% (Таблица 1). Все это положительно влияет на процесс хроматографирования модельных систем и приводит к улучшению степени разделения двухкомпонентных систем, в частности, способствует разделению такой бинарной смеси как гексан и гептан, которая не может быть разделена, при использовании газа-носителя азота, так и азота, обогащенного парами такой активной добавки как пропанол (Табл. 2).

В результате, под воздействием органической добавки – толуола, имеется возможность разделения шестикомпонентной системы, состоящей из предельных углеводородов и одноатомных спиртов, причем в последнем случае, критерий равномерности разделения  $\Delta$  возрастает почти в два раза по сравнению с эффектом, достигнутым при использовании только газа-носителя азота.

Таким образом, установлено, что при использовании органических соединений трех гомологических рядов: одноатомных спиртов нормального строения, предельных углеводородов нормального строения и ароматических углеводородов с целью повышения активности газа-носителя (азота) в процессах хроматографического разделения наиболее целесообразно применение таких органических добавок как пропанол, октан и толуол, температуры кипения которых находятся в пределах 97–125°C, и давлении насыщенных паров над жидкостью при 20°C – 10.5 – 22.3 Р мм.рт.ст. Именно эти соединения выполняют в хроматографических процессах роль не только элюента, но и вытеснителя, способствуя формированию узких симметричных кривых разделения и повышению эффективности хроматографических колонок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С.Д.Ногаре, Р.С.Джувет. Газо-жидкостная хроматография – Л.: Недра, 1966. – 472 с.
2. М.С.Вигдергауз, В.И.Семкин. Влияние газовой фазы на удерживание ароматических углеводородов в хроматографической колонке //Журнал физической химии. – 1972. т. XLVI. – № 3. – с. 691-695.
3. L.Rohrschneider, E.Pelster. Influence of different carrier gases and temperatures on the overall performance of a packed column // "Advances in Chromatography" Edited by A.Zlatkis, Proceedings of the Fourteenth International Symposium held in Lausanne, September 24-28. – 1979. – p.277-286.
4. Б.А.Руденко, М.А.Байдаровцева, М.А.Агаева. Проявительная хроматография с парообразными подвижными фазами (обзор) // Журнал Аналитической химии. – 1975. – Т.XXX. – вып. 6. – С. 1191-1222.
5. А.В.Гарусов, М.С.Вигдергауз. Газовая хроматография с органическими элюентами // Успехи химии. – 1977. – Т.XLVI. – вып. 5. – с. 928 – 943.
6. В.Г.Березкин. Высокоэффективная газовая хроматография. – М.: Знание, 1987. – № 10. – 47 с.
7. К.А.Гольберт, М.С.Вигдергауз. Введение в газовую хроматографию – М.: Химия, 1990. – 352 с.
8. Н.Пецев, Н.Коцев. Справочник по газовой хроматографии – М.: Мир, 1987. – 260 с.
9. Т.Г.Андроникашвили, Л.Г.Эприкашвили, Н.В.Пирцхалава, М.Г.Зауташвили, М.Т.Турманидзе. К активации газа-носителя, используемого в практике газо-



- жидкостной хроматографии // Журнал химических проблем. Баку. — 2005, — № 4. — с. 29-34.
10. Л.Г.Эприкашвили, Н.В.Пирцхалава, М.Т.Турманидзе, Т.Н.Кордзахия, М.Г.Зауташвили. Активация газа-носителя в газо-жидкостной хроматографии парами предельных углеводородов гомологического ряда C<sub>6</sub>-C<sub>9</sub> // GEN. — 2006. — № 3. — с. 212-216.
  11. А.Н.Король Неподвижные фазы в газо-жидкостной хроматографии — М.: Химия, 1985. — 240 с.
  12. Л.Г.Эприкашвили, Н.В.Пирцхалава, М.Т.Турманидзе, Т.Н.Кордзахия, М.Г.Зауташвили. Пары некоторых ароматических соединений, как активаторы газа-носителя в газо-жидкостной хроматографии // Известия АН Грузии. — сер. хим. — 2006. — т. 3-4. — с. 351-358.

*Институт физической и органической химии  
П.Г.Меликишвили, 0186, Тбилиси, ул.Джикия 5.  
Надійшло до редакції 24.12.2006.*