

Лабораторная работа 5
**ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ
ТИПА «ЖИДКОСТЬ – ПАР»**

Цель работы: с использованием диаграммы состояния «этиловый спирт – вода» определить содержание этилового спирта в водно-спиртовой настойке.

Сущность работы. Настойки – прозрачные жидкие извлечения из лекарственного растительного сырья, получаемые без нагревания и удаления экстрагента. В качестве экстрагента используются водно-спиртовые растворы с содержанием спирта от 40 об. % до 95 об. %. Настойки являются близкими по составу к двухкомпонентной системе вода – этанол, поэтому для описания процессов, протекающих при их нагревании, могут использоваться соответствующие фазовые диаграммы.

Как известно, если две жидкости (А и В) неограниченно растворимы друг в друге, то при любых соотношениях они образуют двухкомпонентные растворы, примером которых может служить система вода – этанол. Такие смеси, в зависимости от условий, могут быть двухфазными (раствор в равновесии со своим насыщенным паром) или однофазными (раствор или ненасыщенный пар).

Состав жидкой и паровой фаз удобно выражать через молярные доли компонентов, причем обычно используют следующие обозначения: x_i – молярный состав раствора, y_i – молярный состав пара по i -му компоненту.

Из соотношения

$$x_A + x_B = 1 \quad (1)$$

следует, что для однозначного определения состава фазы достаточно знать величину молярной доли только одного компонента.

На практике двухкомпонентные летучие смеси изучают, как правило, при $P = \text{const}$, изображая результаты в виде изобарических («температура – состав») диаграмм состояния.

На рис., а приведено схематическое изображение изобарической диаграммы состояния «жидкость – пар» двухкомпонентной системы со значительными положительными отклонениями от идеальности, к такому типу относится диаграмма состояния системы «вода – этиловый спирт».

Нижняя линия на диаграмме состояния ($T = f(x_B)$) выражает зависимость температуры кипения раствора от состава раствора при постоянном давлении и называется *линией жидкости*. Верхняя ($T = f(y_B)$) линия выражает зависимость температуры кипения раствора от состава пара при постоянном давлении и называется *линией пара*.

Область Ж, лежащая ниже линии жидкости, соответствует случаю, когда устойчивой фазой является жидкость, т. е. это область существования жидкой гомогенной системы. При повышенной температуре устойчивой фазой является пар, поэтому область П, лежащая выше линии пара – это область существования парообразной гомогенной системы. Область на диаграмме, лежащая между линиями жидкости и пара, является областью существования гетерогенных систем, состоящих из двух равновесных фаз – жидкого раствора и насыщенного пара (Ж + П).

Точка экстремума на зависимости $T = f(x_B)$ называется *азеотропной точкой*. Координаты азеотропной точки на диаграмме состояния «вода – этиловый спирт» – 95,57 мол. % спирта и $T = 78,15^\circ\text{C}$. Область сосуществования растворов и насыщенного пара с содержанием спирта более 95,57 мол. % (правее азеотропной точки) очень мала и поэтому в масштабе, в котором представлена диаграмма (рис., б), она не просматривается.

С использованием фазовой диаграммы системы «вода – этанол» можно определить содержание спирта в исследуемом растворе и состав насыщенного пара на основании полученной экспериментально температуры кипения раствора.

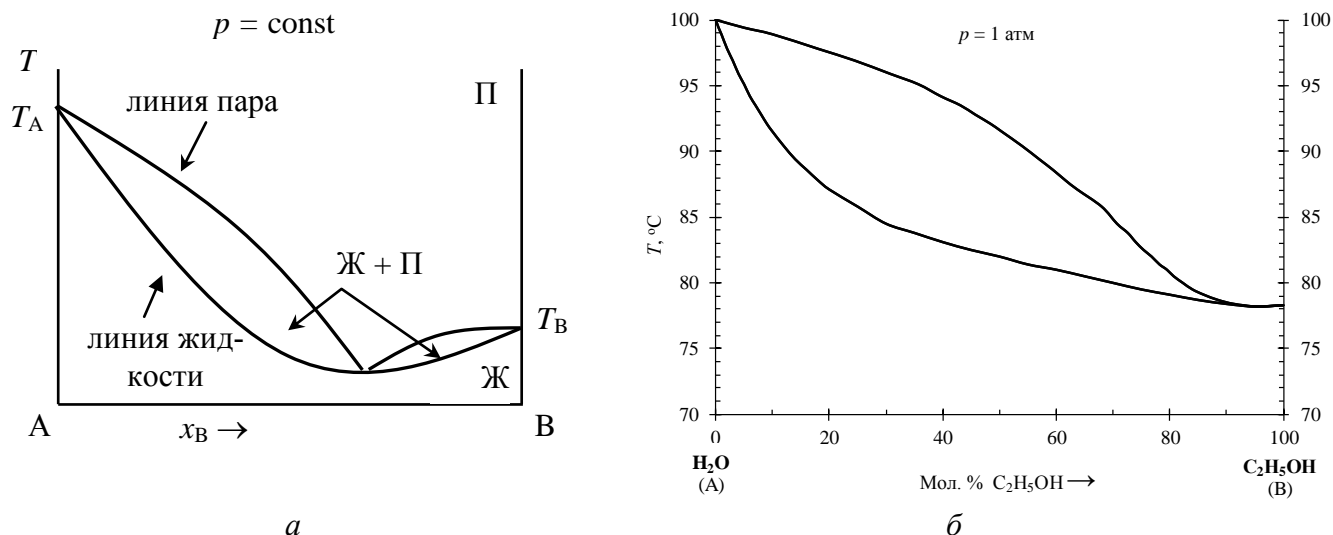


Рис. Изобарическая диаграмма состояния «жидкость – пар» двухкомпонентной системы со значительными положительными отклонениями от идеальности (а) и изобарическая диаграмма состояния системы «этиловый спирт – вода» (б)

Приборы и реактивы: установка для определения температуры кипения (круглодонная колба, термометр, обратный холодильник, колбонагреватель, центры кипения); исследуемые спиртовые настойки (боярышника, валерианы, пустырника и др.).

Выполнение работы. В круглодонную колбу наливают исследуемый раствор так, чтобы ртутный шарик термометра, помещенного в сосуд, располагался над уровнем жидкости на высоте 2–3 мм. Для равномерного кипения в колбу помещают центры кипения (пемзу или кусочки фарфора).

Собирают установку и производят нагрев колбы с использованием колбонагревателя. При первых признаках закипания жидкости интенсивность нагрева уменьшают и внимательно следят за показаниями термометра. Через 5 мин после начала кипения, когда температура становится постоянной или ее отклонение не превышает $\pm 0,1^\circ\text{C}$, записывают показания термометра.

По данным табл. 1 строят диаграмму состояния «вода – этанол» и определяют содержание спирта в растворе (в мол. %). Используя построенную диаграмму состояния и данные табл. 2, выполнить следующие задания.

1. При помощи диаграммы состояния проследить фазовые превращения, имеющие место при изобарическом нагревании водного раствора, содержащего a мол. % этилового спирта при температуре T_a , до температуры, при которой раствор полностью перейдет в пар. Указать температуру начала кипения раствора a и состав первого пузырька пара, температуру исчезновения последней капли раствора и ее состав.

2. Пар, содержащий b мол. % воды, изобарически охлаждают от температуры T_b . Указать температуру начала конденсации пара и состав первой капли жидкости, температуру окончания конденсации и состав последнего пузырька пара.

3. Смесь из c моль воды и d моль этилового спирта нагрета при постоянном давлении ($P = 101\,325$ Па) до температуры T_e . Определить, сколько моль этилового спирта будет находиться при этой температуре в растворе, а сколько – в паре.

4. Рассчитать вариантность (число степеней свободы) следующих систем:

а) азеотропная смесь компонентов при температуре азеотропа (95,57 мол. % спирта, $78,15^\circ\text{C}$);

б) смесь из c моль воды и d моль этилового спирта при температуре T_e ;

в) пар, содержащий b мол. % воды, находящийся при температуре T_b ;

г) этиловый спирт в точке его кипения при $P = 101\,325$ Па.

**Зависимость состава раствора и состава насыщенного пара
от температуры для системы этанол – вода при $p = 1$ атм**

| $T, ^\circ\text{C}$ | Состав раствора, мол. % этанола | Состав пара, мол. % этанола | $T, ^\circ\text{C}$ | Состав раствора, мол. % этанола | Состав пара, мол. % этанола |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 100 | 0 | 0 | 82 | 50 | 76,8 |
| 97,8 | 2 | 18 | 81,4 | 55 | 78,2 |
| 95,9 | 4 | 30,7 | 81 | 60 | 79,5 |
| 92,8 | 8 | 45,7 | 80,5 | 65 | 80,7 |
| 90,4 | 12 | 54 | 80 | 70 | 82,3 |
| 88,6 | 16 | 59,4 | 79,5 | 75 | 84 |
| 87,1 | 20 | 63,7 | 79,1 | 80 | 86 |
| 85,8 | 25 | 68 | 78,7 | 85 | 88,5 |
| 84,5 | 30 | 70,7 | 78,4 | 90 | 91,3 |
| 83,8 | 35 | 72,6 | 78,15 | 95,6 | 95,6 |
| 83,1 | 40 | 74 | 78,2 | 95 | 95,4 |
| 82,5 | 45 | 75,4 | 78,3 | 100 | 100 |

Таблица 2

Исходные данные

| Вариант | $a,$ мол. % спирта | $T_a, ^\circ\text{C}$ | $b,$ мол. % воды | $T_b, ^\circ\text{C}$ | $c,$ моль воды | $d,$ моль спирта | $T_e, ^\circ\text{C}$ |
|---------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 10 | 71 | 40 | 90 | 9 | 1 | 95 |
| 2 | 20 | 72 | 50 | 95 | 8 | 2 | 90 |
| 3 | 70 | 77 | 35 | 92 | 18 | 2 | 98 |
| 4 | 30 | 73 | 60 | 98 | 7 | 3 | 88 |
| 5 | 40 | 74 | 70 | 100 | 6 | 4 | 87 |
| 6 | 15 | 78 | 45 | 95 | 16 | 4 | 91 |
| 7 | 50 | 75 | 80 | 102 | 5 | 5 | 90 |
| 8 | 60 | 76 | 90 | 103 | 4 | 6 | 86 |
| 9 | 25 | 77 | 55 | 98 | 14 | 6 | 89 |
| 10 | 70 | 76 | 60 | 97 | 14 | 6 | 94 |
| 11 | 60 | 75 | 90 | 104 | 7,5 | 7,5 | 90 |
| 12 | 30 | 76 | 50 | 99 | 12 | 8 | 93 |
| 13 | 45 | 75 | 75 | 100 | 10 | 10 | 88 |
| 14 | 65 | 73 | 30 | 88 | 90 | 10 | 94 |
| 15 | 55 | 74 | 85 | 102 | 8 | 12 | 84 |
| 16 | 10 | 72 | 40 | 90 | 80 | 20 | 94 |
| 17 | 20 | 71 | 50 | 100 | 70 | 30 | 95 |
| 18 | 30 | 72 | 60 | 99 | 60 | 40 | 93 |
| 19 | 40 | 73 | 70 | 101 | 50 | 50 | 89 |
| 20 | 50 | 74 | 80 | 103 | 40 | 60 | 84 |
| 21 | 70 | 77 | 35 | 90 | 18 | 2 | 98 |
| 22 | 30 | 73 | 60 | 98 | 7 | 3 | 88 |
| 23 | 40 | 74 | 70 | 100 | 6 | 4 | 87 |
| 24 | 15 | 78 | 45 | 95 | 16 | 4 | 91 |
| 25 | 50 | 75 | 80 | 102 | 5 | 5 | 90 |
| 26 | 60 | 76 | 90 | 103 | 4 | 6 | 86 |
| 27 | 25 | 77 | 55 | 98 | 14 | 6 | 89 |
| 28 | 70 | 76 | 60 | 97 | 14 | 6 | 94 |
| 29 | 60 | 75 | 90 | 104 | 7,5 | 7,5 | 89 |
| 30 | 30 | 76 | 50 | 99 | 12 | 8 | 92 |

