



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный технический университет»

**Кафедра химической технологии и промышленной экологии**

**Методические указания к выполнению контрольной  
работы по дисциплине «Защита воздушной среды»**

для студентов заочного факультета

Самара 2015

Методические указания к контрольной работе для студентов заочного факультета направления подготовки 241000 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль (специализация) «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов».

Составитель доц. каф. ХТиПЭ

В.В. Филиппов

Заочное изучение дисциплины «Защита воздушной среды» предусматривает выполнение контрольной работы. Вопросы для этой работы помещены ниже. Студент выбирает свой вариант по сумме трёх последних цифр зачётной книжки. Если сумма оказалась равной нулю, выполняется вариант 29.

**Оформление контрольной работы произвольное:** можно в обычной ученической тетради, можно от руки на листах формата А4, можно на компьютере.

### **Вариант 1**

1. Атмосфера как объект защиты. Изменение давления и температуры по высоте.
2. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Пыли, причины образования.
3. Загрязнение воздушной среды в нефтепереработке. Вклад в загрязнение резервуарного парка НПЗ.
4. Рассчитать изотерму адсорбции метилциклогексана на угле при 40°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 2**

1. Атмосфера как объект защиты. Строение атмосферы. Инверсия температуры.
2. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Очистка от пыли с использованием силы тяжести.
3. Загрязнение воздушной среды автомобильным транспортом.
4. Рассчитать изотерму адсорбции метилового спирта на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 3**

1. Атмосфера как объект защиты. Природный химический состав воздуха.
2. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Очистка от пыли с использованием центробежной силы.
3. Загрязнение воздушного бассейна в топливной энергетике.
4. Рассчитать изотерму адсорбции этилового спирта на угле при 40°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 4**

1. Постоянные составляющие атмосферы. Азот, его свойства.
2. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Мокрая очистка газов от пыли.
3. Загрязнение воздушной среды в химической промышленности.
4. Рассчитать изотерму адсорбции гексана на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 5**

1. Постоянные составляющие атмосферы. Кислород, его свойства.
2. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Очистка газов от пыли с помощью электрофильтров.
3. Загрязнение воздушной среды в топливной энергетике. Очистка дымовых газов от диоксида серы.
4. Рассчитать изотерму адсорбции муравьиной кислоты на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 6**

1. Постоянные составляющие атмосферы. Диоксид углерода. Источники поступления в атмосферу. Парниковый эффект.
2. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Очистка газов от пыли фильтрованием. Типы используемых фильтров.
3. Загрязнение воздушной среды в топливной энергетике. Подавление образования оксида азота в топках котлов.
4. Рассчитать изотерму адсорбции хлороформа на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 7**

1. Постоянные составляющие атмосферы. Азот. Физические и химические свойства, источники поступления в атмосферу. Проблема связанного азота.
2. Гомогенные загрязнители воздушной среды. Удаление гомогенных загрязнителей с помощью абсорбции. Сущность метода. Влияние температуры и давления на эффективность процесса.
3. Загрязнение воздушной среды в промышленности строительных материалов.
4. Рассчитать изотерму адсорбции этилацетата на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 8**

1. Переменные составляющие атмосферы. Пыли. Естественные и природные источники образования.
2. Химические загрязнители воздушной среды. Оксид углерода. Свойства, источники и причины образования.
3. Загрязнение воздушной среды автомобильным транспортом.
4. Рассчитать изотерму адсорбции уксусной кислоты на угле при 40°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 9**

1. Переменные составляющие атмосферы. Пыли, дымы, туманы.
2. Химические загрязнители атмосферы. Диоксид серы. Свойства, источники и причины образования. Кислотные дожди, их влияние на растительный и животный мир и материалы.
3. Предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.
4. Рассчитать изотерму адсорбции метилового спирта на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 10**

1. Переменные составляющие атмосферы. Сероводород. Источники образования.
2. Очистка газов от пыли. Сухие методы. Материальный баланс процесса. Критерии эффективности.
3. Очистка газовых неоднородных смесей фильтрованием. Принцип метода и способы его реализации.
4. Рассчитать изотерму адсорбции этилового спирта на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 11**

1. Переменные составляющие атмосферы. Диоксид углерода, его природное и антропогенное образование. Парниковый эффект, его причины и следствия.
2. Использование центробежной силы для очистки газов от пыли. Фактор разделения. Устройство и принцип работы циклона.
3. Хроматографический метод определения загрязняющих веществ в атмосфере. Типы детекторов.
4. Рассчитать изотерму адсорбции пентана на угле при 10°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 12**

1. Химические загрязнители воздушной среды, их краткая характеристика
2. Очистка газов от пыли в электрическом поле. Принцип действия и устройство электрофильтров.
3. Методы определения атмосферных загрязнений, их классификация.
4. Рассчитать изотерму адсорбции толуола на угле при 40°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 13**

1. Химические загрязнители атмосферы. Оксиды азота. Свойства, источники и причины образования.
2. Очистка газовых неоднородных смесей фильтрованием. Фильтры для очистки газов. Рукавный фильтр.
3. Источники загрязнения атмосферы на нефтеперерабатывающем заводе. Резервуарный парк.
4. Рассчитать изотерму адсорбции пентана на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 14**

1. Атмосфера как объект защиты. Изменение давления и температуры по высоте.
2. Химические загрязнители атмосферы. Углеводороды. Свойства, источники и причины образования.
3. Хроматографический метод определения загрязняющих веществ в атмосфере. Типы детекторов.
4. Рассчитать изотерму адсорбции ацетона на угле при 10°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 15**

1. Воздушный бассейн как объект защиты. Химический состав атмосферы.
2. Химические загрязнители атмосферы. Оксиды азота. Свойства, источники и причины образования.
3. Очистка газов от гомогенных примесей с помощью абсорбции. Сущность метода.
4. Рассчитать изотерму адсорбции этилацетата на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 16**

1. Химические загрязнители воздушной среды. Углеводороды. Источники поступления.
2. Очистка газов от гетерогенных примесей. Пылеосадительные камеры. Конструкции.
3. Загрязнение воздушной среды в нефтепереработке. Резервуарный парк. «Большое» и «малое» дыхание.
4. Рассчитать изотерму адсорбции метилэтилкетона на угле при 40°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 17**

1. Переменные составляющие воздушной среды (атмосферы). Сероводород. Источники поступления в атмосферу.
2. Очистка газов от гомогенных примесей. Абсорбция. Принцип метода, область применения.
3. Загрязнение воздушного бассейна в нефтепереработке. Углеводороды, источники поступления в атмосферу на НПЗ.
4. Рассчитать изотерму адсорбции метанола на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 18**

1. Постоянные составляющие воздушной среды. Кислород. Свойства. Баланс кислорода в атмосфере.
2. Очистка газов от гомогенных примесей. Каталитическое сжигание. Принцип, область применения.
3. Загрязнение воздушной среды автомобильным транспортом. Причины. Способы подавления.
4. Рассчитать изотерму адсорбции гексана на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 19**

1. Воздушная среда с физической точки зрения. Структура атмосферы. Изменение температуры и давления по высоте.
2. Очистка газов от пыли. Способы очистки и их краткая характеристика.
3. Загрязнение атмосферы автомобильным транспортом. Причины, способы снижения. Требования к топливам.
4. Рассчитать изотерму адсорбции метанола на угле при 10°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 20**

1. Переменные составляющие атмосферы. Диоксид углерода, его природное и антропогенное образование. Парниковый эффект, его причины и следствия.
2. Очистка газов от гомогенных примесей с помощью конденсации. Энергетические затраты на процесс. Аппаратурное оформление.
3. Источники загрязнения атмосферы на нефтеперерабатывающем заводе. Резервуарный парк.
4. Рассчитать изотерму адсорбции ацетона на угле при 15°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 21**

1. Атмосфера как объект защиты. Структура атмосферы. Изменение давления и температуры по высоте.
2. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Очистка от пыли с использованием центробежной силы.
3. Загрязнение воздушной среды в топливной теплоэнергетике. Способы подавления образования оксидов азота в топках котлов.
4. Рассчитать изотерму адсорбции этанола на угле при 15°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 22**

1. Химический состав атмосферного воздуха. Постоянные составляющие, их свойства.
2. Гомогенные загрязнители воздушной среды. Применение адсорбции для удаления паров летучих растворителей.
3. Загрязнение воздушной среды в нефтепереработке. Источники поступления углеводородов в атмосферу на НПЗ.
4. Рассчитать изотерму адсорбции ацетона на угле при 5°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 23**

1. Переменные составляющие атмосферы. Диоксид серы. Источники образования. Влияние на животный и растительный мир.
2. Мокрая очистка газов от пыли. Аппаратурное оформление процесса.
3. Загрязнение воздушной среды автомобильным транспортом. Пути снижения влияния автотранспорта на воздушный бассейн.
4. Рассчитать изотерму адсорбции четырёххлористого углерода на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 24**

1. Гетерогенные загрязнители воздушной среды. Пыли, причины образования.
2. Мокрая очистка газов от пыли. Скрубберный процесс. Типы применяемых аппаратов.
3. Загрязнение воздушного бассейна в топливной энергетике при сжигании мазута. Способы уменьшения воздействия на атмосферу.
4. Рассчитать изотерму адсорбции четырёххлористого углерода на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.



### **Вариант 25**

1. Химические загрязнители атмосферы. Оксид углерода. Свойства, источники и причины образования.
2. Очистка газов от пыли. Промышленные способы очистки и их краткая характеристика.
3. Мероприятия по уменьшению загрязнения атмосферы автомобильным транспортом.
4. Рассчитать изотерму адсорбции этилацетата на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 26**

1. Состав атмосферы и её свойства. Распределение температуры и давления по высоте. Инверсия температуры, причины её появления.
2. Очистка газов от пыли. Сухие методы. Материальный баланс процесса. Критерии эффективности.
3. Загрязнение атмосферы автомобильным транспортом. Причины, способы снижения. Требования к топливам.
4. Рассчитать изотерму адсорбции толуола на угле при 35°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 27**

1. Химические загрязнители атмосферы. Оксид углерода. Свойства, источники и причины образования.
2. Хроматографический метод определения загрязняющих веществ в атмосфере. Типы детекторов.
3. Меры по снижению загрязнения атмосферы на НПЗ.
4. Рассчитать изотерму адсорбции сероуглерода на угле при 30°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

### **Вариант 28**

1. Химические загрязнители атмосферы. Оксиды азота. Свойства, источники и причины образования.
2. Очистка газов от пыли в электрическом поле. Принцип действия и устройство электрофильтров.
3. Источники загрязнения атмосферы на нефтеперерабатывающем заводе. Резервуарный парк.
4. Рассчитать изотерму адсорбции четырёххлористого углерода на угле при 20°C. Алгоритм расчёта приведён в конце методички.

## Основные положения теории адсорбции

**Адсорбция** – это процесс поглощения вещества из газовой или парогазовой смеси твёрдым поглотителем, который называется **адсорбентом**. Целевой компонент до его поглощения называют **адсорбтивом**, а после поглощения, когда он перешёл в поры твёрдого вещества – **адсорбатом**.

В статических условиях между твёрдым адсорбентом и поглощаемым веществом устанавливается состояние **равновесия**. Это означает, что концентрации адсорбтива в газе  $\bar{C}_y$  (или его парциальному давлению  $p$ ) отвечает строго определённое содержание в твёрдой фазе  $a^*$ , которое называют **статической активностью**. При постоянной температуре на графике связь между этими величинами выглядит как кривая линия, которую называют **изотермой адсорбции**.

Без данных по равновесию между поглощаемым компонентом и адсорбентом рассчитать процесс и аппарат нельзя. Если учёными изучалась статическая активность для какого-либо вещества, то данные по равновесию можно найти в справочной литературе. Но таких данных немного. Чаще оказывается, что необходимых сведений по равновесию в литературе нет. В этом случае приходится определять активность расчётным путём. Но для этого всё равно необходимо иметь равновесные данные хоть по какому-нибудь одному веществу. В качестве такого стандартного вещества принято использовать бензол – учёными хорошо изучена активность угля по отношению к этому веществу.

Для расчёта используется изучаемая в курсе физической химии теория Эйкена и Поляни. Согласно этой теории, располагая изотермой адсорбции стандартного вещества при температуре  $T_1$ , можно рассчитать изотерму адсорбции другого вещества при температуре  $T_2$ . Т.е. если для температуры  $T_1$  имеются экспериментальные данные  $a_{cm}^* - p_{cm}$ , то можно получить зависимость  $a^* - p$  для любого вещества при температуры  $T_2$ . В ходе такого расчёта нужно будет сделать переходы  $a_{cm}^* \rightarrow a^*$  и  $p_{cm} \rightarrow p$ .

Переход от активности стандартного вещества к активности нужного нам вещества выполняется по формуле

$$a^* = \frac{a_{cm}^* V_{cm}}{V}, \quad (1)$$

где  $V_{cm}, V$  – мольные объёмы стандартного и поглощаемого вещества в жидком состоянии, м<sup>3</sup>/кмоль.

Напомню, что мольный объём – это объём, занимаемый одним киломолем вещества в жидком состоянии, он определяется по формуле

$$V = \frac{M}{\rho}, \quad (2)$$

где  $M$  – мольная масса вещества, кг/кмоль, её проще всего найти по формуле с использованием атомных масс элементов, этому учат в 6-м классе средней школы. Для тех, кто школьный курс благополучно забыл, есть Интернет-ресурсы:

<http://planetcalc.ru/329/>

<http://ru.webqc.org/mmcalc.php>

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>. Значения плотности жидкостей можно взять из таблицы 1 или здесь:

<http://filippov.samgtu.ru/> - см. электронный справочник вверху справа;

<http://www.chemport.ru/data/data17.shtml>

Таблица 1

**Плотность некоторых жидкостей при 20°C**

Вещество	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Ацетон	791
Бензол	879
Бутиловый спирт	810
Гексан	660
Гептан	681
Дихлорэтан	1254
Диэтиловый эфир	714
изо-Пропиловый спирт	785
Метиловый спирт	792
Метилацетат	924
Метилциклогексан	769
Муравьиная кислота	1220
Октан	702
Пентан	639
Пропиловый спирт	804
Пропилацетат	887
Сероуглерод	1263
Толуол	866
Уксусная кислота	1048
Хлорбензол	1107
Хлороформ	1489
Циклогексан	779
Четырёххлористый углерод	1594
Этилацетат	901
Этиловый спирт	789

Для того, чтобы сделать второй переход – от парциального давления стандарта  $p_{cm}$  при температуре  $T_1$  к парциальному давлению интересующего нас вещества  $p$  при температуре  $T_2$  – используется формула

$$\lg p = \lg P - \beta \frac{T_1}{T_2} \lg \frac{P_{cm}}{P_{cm}}, \quad (3)$$

где:

- $P_{cm}$  – давление насыщенного пара стандартного вещества при температуре  $T_1$  (мм рт. ст.);
- $P$  – давление насыщенного пара интересующего нас вещества при температуре  $T_2$  (мм рт. ст.);
- $\beta$  – **коэффициент аффинности**, равный отношению мольных объёмов интересующего нас вещества и стандарта, вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{V}{V_{cm}}. \quad (4)$$

Величины давлений насыщенного пара стандартного и интересующего нас вещества можно или взять из таблицы 1 Приложения, или рассчитать по уравнению Антуана

$$\ln P = A - \frac{B}{T + C}, \quad (5)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  – коэффициенты уравнения Антуана, их значения приведены в табл. 2 или здесь:

<http://filippov.samgtu.ru/>

[http://chemway.ru/bd\\_chem/tbl\\_term\\_pv/w\\_tbl\\_term\\_pv\\_ant.php](http://chemway.ru/bd_chem/tbl_term_pv/w_tbl_term_pv_ant.php)

Таблица 2

### Значения коэффициентов уравнения Антуана

Вещество	A	B	C
Ацетон	16,6513	2940,46	-35,93
Бензол	15,9008	2788,51	-52,36
Бутиловый спирт	17,2160	3137,02	-94,43
Гексан	15,8366	2697,55	-48,78
Гептан	15,8737	2911,32	-56,51
Дихлорэтан	16,1764	2940,46	-35,93
Диэтиловый эфир	16,0828	2511,29	-41,94
изо-Пропиловый спирт	18,6929	3640,20	-34,29
Метиловый спирт	18,5875	3626,55	-34,29
Метилацетат	16,1295	2601,92	-56,15
Метилциклогексан	15,7105	2926,04	-51,75

Муравьиная кислота	16,9882	3599,58	-26,09
Октан	15,9426	3120,29	-63,63
изо-Октан	15,7797	2965,44	-60,58
Пентан	15,8333	2477,07	-39,94
изо-Пентан	15,6338	2348,67	-40,05
Пропилацетат	16,2291	2980,47	-64,15
Сероуглерод	15,9844	2690,85	-31,62
Толуол	16,0137	3096,52	-53,67
Уксусная кислота	16,8080	3405,57	-56,34
Хлорбензол	16,0676	3295,12	-55,60
Хлороформ	15,9732	2696,79	-46,16
Циклогексан	15,7527	2766,63	-50,50
Четырёххлористый углерод	15,8742	2808,19	-45,99
Этилацетат	16,1516	2790,50	-57,15
Этиловый спирт	18,9119	3803,98	-41,68

Как уже отмечалось, в качестве стандартного вещества в практике расчётов процесса адсорбции принято использовать бензол. Данные по его изотерме адсорбции приведены в таблице 3, а вид изотермы показан на рис. 1.

Таблица 3

**Изотерма адсорбции бензола на угле при 20°C**

№	Статическая активность по бензолу, $a_{ст}^*$ , кг бенз./кг угля	Парциальное давление бензола, $p_{ст}$ , мм рт. ст.
1	0,103	0,125
2	0,122	0,223
3	0,208	1,00
4	0,233	3,00
5	0,262	8,00
6	0,276	13,0
7	0,294	19,0
8	0,318	33,0
9	0,338	42,0
10	0,359	50,0

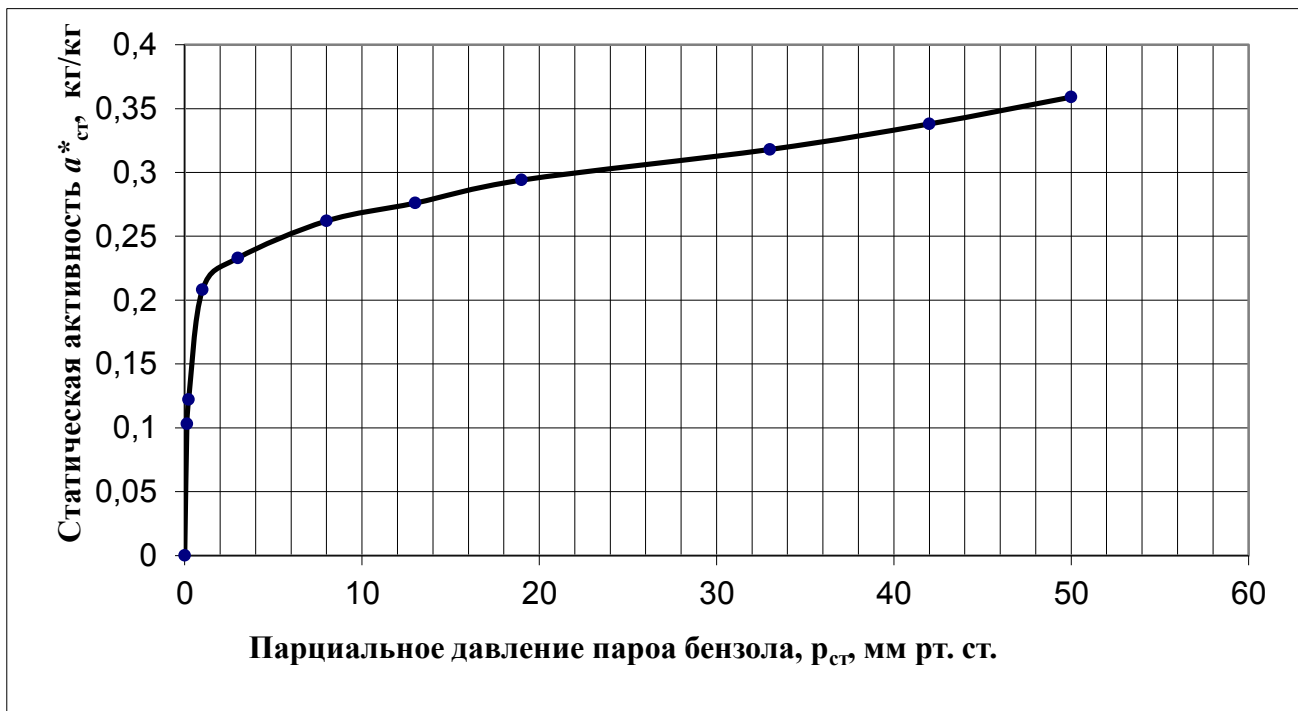


Рис. 1. Изотерма адсорбции бензола при 20<sup>0</sup>С.

### Алгоритм расчёта изотермы адсорбции какого-либо вещества на угле

Задача: найти зависимость  $a_x^* = f(p_x)$ , где нижний индекс  $x$  относится к заданному веществу,  $a_x^*$  – активность угля по отношению к этому веществу,  $p_x$  – парциальное давление заданного вещества в газовой фазе (фактически это концентрация). Например, если надо найти активность угля по отношению к толуолу, то записывается это так:  $a_{тол}^* = f(p_{тол})$ .

1. В качестве стандартного вещества берём бензол. В таблице 3 выбираем точку с координатами  $a_{см}^* = 0,103$  кг бензола/кг угля;  $p_{см} = 0,125$  мм рт. ст.

Переведём активность из килограмм бензола на килограмм угля в киломоль бензола на килограмм угля. Молярная масса бензола  $C_6H_6$   $M = 78 \frac{кг}{кмоль}$ . Получаем

$$a_{см}^* = \frac{0,103}{78} = 0,0013 \frac{кмоль\ бензола}{кг\ угля}.$$

2. По формуле (2) вычисляем мольный объём бензола. Он равен

$$V_{см} = \frac{M_{см}}{\rho_{см}} = \frac{78}{879} = 0,0887 \frac{м^3}{кмоль}.$$

3. Точно также находим мольный объём заданного вещества.

По формуле (4) вычисляем коэффициент аффинности  $\beta$  – он нам потребуется при выполнении пункта 7.

4. По формуле (1) делаем **первый переход**: от активности угля по бензолу при температуре 20°C к активности заданного вещества при заданной температуре, т.е.  $a_{cm}^* \rightarrow a^*$ .

Теперь надо сделать **второй переход** – от парциального давления бензола при температуре 20°C к парциальному давлению заданного вещества при заданной температуре, т.е.  $p_{cm} \rightarrow p$ . Но для этого сначала по уравнению Антуана (5) нужно найти давления насыщенных паров бензола и заданного вещества.

5. Находим давление насыщенного пара бензола (оно будет постоянным для всех последующих вычислений)

$$\ln P_{cr} = A - \frac{B}{T_{cr} + C} = 15,9008 - \frac{2788,51}{293 - 52,36} = 4,3129.$$

Тогда давление пара бензола при 20°C будет равно

$$P_{cm} = e^{4,3129} = 75 \text{ мм рт. ст.}$$

6. Давление насыщенного пара заданного вещества при заданной температуре находим точно также, но уже самостоятельно.

7. Подставляем полученные значения давления насыщенных паров бензола и заданного вещества и коэффициента аффинности  $\beta$  в формулу (3) и находим парциальное давление пара заданного вещества.

8. Итак, в результате выполнения пунктов 4÷7 мы получили два значения: парциальное давление заданного вещества в паровой фазе (фактически это концентрация!) и активность угля при этой концентрации. Эти значения заносим в таблицу, аналогичную таблице (3).

9. Берём вторую строку таблицы (3) и возвращаемся к пункту 4 Алгоритма. И так десять раз – пока не дойдём до последней строки таблицы. По полученным данным строим изотерму адсорбции заданного вещества на одном графике с бензолом. Должно получиться что-то похожее на рис. 2. График можно строить любым удобным способом: на миллиметровке, средствами Excel и т.д.

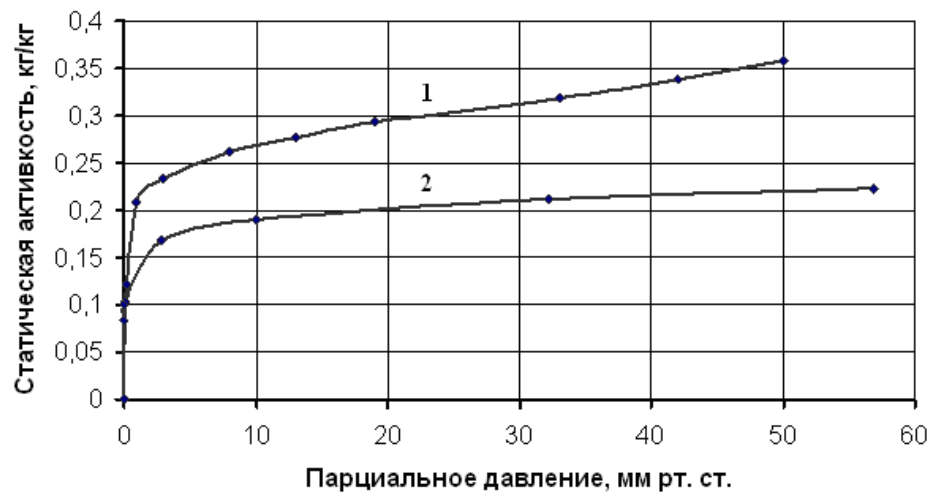


Рис. 2. Изотерма адсорбции бензола (кривая 1) и заданного вещества (кривая 2).