

## ***Практическое занятие***

**Цель:** определить роль зеленых растений в городских экосистемах (урбоэкосистемах), рассмотреть источники опасности для здоровья человека.

### **Опорные знания**

**Экосистема** – это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность и единство

**Урбоэкосистема** — искусственно созданная и поддерживаемая человеком среда. Сюда относятся города, посёлки и урбанизированные людьми участки земли. К урбоэкосистеме также относят влияние роста городского населения и поддержки инфраструктуры зданий на окружающую город среду и прилегающие к городу территории.

Экология любого большого города, особенно такого гигантского техногенного мегаполиса, как Москва, немыслима без зеленых насаждений. Эти своеобразные «городские легкие» обогащают городскую атмосферу кислородом и очищают ее. Необходимо понимать, что процесс выделения кислорода зелеными растениями непосредственно связан с их ростом, который идет достаточно медленно: деревья растут годы, десятилетия и даже века, а сгорают за минуты. Оба этих процесса могут быть выражены одной химической реакцией, идущей в различных направлениях. В одном случае атом углерода присоединяет молекулу кислорода, образуя углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), в другом молекула углекислого газа усваивается растением. При этом она распадается: атом углерода идет на образование древесины, а молекула кислорода выделяется в атмосферу. То есть в процессе образования древесины кислород является побочным продуктом.

Естественно, что древесина состоит не только из углерода. Каждое растение содержит некоторое количество воды и минеральных солей. Всем хорошо известно, что свежесрубленное дерево горит плохо, а после загорания выделяет много водяного пара, что делает дым от влажных дров хорошо заметным издали. Цвет пламени горящей древесины обычно желтый, поскольку из минеральных солей наиболее распространены соли натрия, а именно, его ионы окрашивают пламя в желтый цвет; если дерево росло на почвах, богатых солями калия, то дрова из него дают пламя с фиолетовыми отблесками.

Для выполнения задания необходимо вычислить массу древесного ствола. При этом форма ствола принимается эквивалентной форме цилиндра. Следовательно, необходимо вычислить объем цилиндра и умножить полученное значение на плотность древесины. Далее следует применить правило вычисления массы веществ, участвующих в химической реакции (подробно разобрано в приведенном ниже примере расчета) и объединенный закон газового состояния.

**Задание 1. Определение объема углекислого газа, необходимого для образования древесины.**

### **Пример выполнения задания 1**

**Условие.** Какой объем углекислого газа, взятого при нормальных условиях, необходимо поглотить растению, чтобы выросло дерево со следующими

параметрами: диаметр ствола  $D=0,8$  м, высота  $h=15$  м, плотность древесины  $\rho=0,08$  м<sup>3</sup>. Принимаем, что вся древесина состоит из углерода, и что древесный ствол имеет правильную цилиндрическую форму.

*Решение:*

Определяем массу  $m$  дерева. Для этого площадь поперечного сечения, равную  $\pi r^2$ , умножим на высоту  $h$  (радиус  $r$  равен  $D/2 = 0,4$  м) и на плотность  $\rho$ .

То есть,

$$m = \pi r^2 h \rho \quad (1.1)$$

или  $3,14 \times 15 \text{ м} \times (0,4 \text{ м})^2 \times 0,08 \text{ т/м}^3 = 0,6 \text{ т} = 600 \text{ кг}$ .

Образование древесины из углекислого газа идет по реакции:



Принимаем в уравнении (1.2) массу углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) равной  $m_1$ , массу углерода (C) равной  $m_2$ , а их молекулярные массы равными  $M_1$  и  $M_2$  соответственно.

Воспользуемся соотношением масс реагирующих веществ и их молекулярных масс:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{k_1 M_1}{k_2 M_2}, \quad (1.3)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы реагирующих веществ;  $M_1$  и  $M_2$  – их молекулярные массы;  $k_1$  и  $k_2$  – их стехиометрические коэффициенты (согласно уравнению (1.2) они равны единице).

Атомная масса кислорода равна 16, углерода – 12 (из таблицы Д.И.Менделеева). Соответственно, молекулярная масса  $\text{CO}_2$  ( $M_1$ ) равна  $16 \times 2 + 12 = 44$ ; молекулярная масса углерода принимается равной его атомной массе, т.е.  $M_2 = 12$ . Используя формулу (1.3), получаем:

$$m_1 = \frac{m_2 \times M_1}{M_2}. \quad (1.4)$$

Подставляя данные, получаем:

$$m_1 = \frac{600 \text{ кг} \times 44}{12} = 2200 \text{ кг}.$$

Известно, что при нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объем 22,4 л. Так как 1 моль углекислого газа имеет массу 0,044 кг или 44 г (поскольку масса одного моля численно равна молекулярной массе), то, умножив число молей углекислого газа, содержащихся в 2200 кг, на 22,4 л, получим искомую величину.

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{2200 \text{ кг}}{0,044 \text{ кг}} \times 22,4 \text{ л} = 1120000 \text{ л} \quad \text{или} \quad 1120 \text{ м}^3.$$

*Ответ:* объем углекислого газа, взятого при нормальных условиях, равен 1120 м<sup>3</sup>.

## Варианты для выполнения задания

Таблица 1

№№	Вид древесины	$\rho, \text{ г/см}^3$	I		II		III		IV		V	
			$D, \text{ м}$	$h, \text{ м}$								
1	липа	0,45	1	19	0,15	2	0,6	19	0,9	9	0,75	12,3
2	сосна	0,5	0,9	17	0,3	4	0,81	2	0,4	12	0,16	14,6
3	бук	0,65	0,8	15	1,01	6	0,7	17	1,1	7	0,92	17,1
4	дуб	0,7	0,7	13	0,79	8	0,79	4	0,3	14	0,7	9,6
5	орех	0,66	0,6	11	0,81	10	0,8	15	1,5	5	0,32	1,5
6	груша	0,725	0,5	9	0,75	12	1,01	6	0,1	16	0,5	2,37
7	ясень	0,74	0,2	7	1,07	14	0,9	13	1,07	3	0,2	5,9
8	клен	0,7	0,1	5	1,5	16	0,3	8	0,2	18	0,38	6,78
9	кр. дерево	0,6	0,3	3	1,1	18	1	11	0,75	1	0,8	7,53
10	акация	0,77	0,4	1	0,9	20	0,15	10	0,5	20	0,74	1,24

### Задание 2. Определение продуктов сгорания органического топлива

Задание посвящено проблеме, с которой сталкивались все наши предки, топившие так называемые «баньки по черному» или угоравшие в своих избах при закрытой печной заслонке. (Ее закрывали, чтобы тепло из дома после окончания топки печи не улетучивалось через печную трубу слишком быстро). Известно, что при сгорании древесины или каменного угля помимо углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) может образовываться и угарный газ ( $\text{CO}$ ). Последний легко окисляется кислородом воздуха и при сгорании топлива на открытом воздухе или при наличии интенсивной тяги опасности для человека не представляет. Однако в закрытом помещении угарный газ весьма опасен и может привести к тяжелому отравлению и даже смерти. Это происходит потому, что молекула угарного газа лишь незначительно превосходит по размерам молекулу кислорода. Попадая при дыхании в организм, она необратимо встраивается в молекулу гемоглобина (составляющая крови), которая в нормальных условиях является «транспортном», доставляющим кислород, и выводящая продукты окисления (угарный газ) из всех тканей тела человека. В результате снабжение организма кислородом нарушается – место на «транспортере» занято. Как видно из сказанного, между процессами горения и дыхания просматривается прямая аналогия.

Поскольку плотность угарного газа меньше плотности воздуха, то в помещениях без вентиляции он скапливается под потолком. И угарный и углекислый газы не имеют ни цвета, ни запаха, поэтому повышение их концентраций до опасных уровней происходит незаметно для людей, находящихся в помещении. Кроме того, при прохождении над раскаленными углями углекислый газ восстанавливается до угарного ( $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ ), что представляет дополнительную опасность, поскольку предельно допустимая концентрация (ПДК) угарного газа значительно меньше, чем углекислого.

При выполнении задания необходимо понимать, что не все допущения, принятые в образце решения, имеют место в реальных условиях. В частности, углекислый и угарный газы, находясь в закрытом помещении, хотя и располагаются друг над другом из-за неодинаковой плотности, но при этом нет четкой границы раздела, а существует некий слой смешивания.

### Пример выполнения задания 2

*Условие.* Какой объем займет угарный газ, выделяющийся при полном сгорании древесины, угля или другого топлива в помещении (банька «по черному») со следующими параметрами:  $l=4,0$  м – длина помещения;  $n=2,0$  м – ширина помещения;  $h=3,0$  м – высота помещения. Масса топлива  $m=12$  кг; коэффициент сгорания  $k=0,8$ ; коэффициент, отвечающий количеству углерода, подвергающегося неполному сгоранию (образующему CO)  $\psi_1=0,1$ ; коэффициент, отвечающий количеству углерода, образующего CO во вторичном процессе,  $\psi_2=0,15$ .  $T_1=40^\circ\text{C}=313\text{K}$ ;  $P_1=780$  мм.рт.ст. Определить, с какой высоты помещения будет начинаться зона, заполненная угарным газом. Упрощенно полагаем, что угарный газ располагается вверху и не смешивается с другими газами.

*Решение:*

Считаем, что все сгоревшее топливо – чистый углерод. Тогда его количество определяется произведением массы топлива на коэффициент сгорания:

$$m_1 = m \times k \quad (1.5)$$

или  $m_1 = 12 \times 0,8 = 9,6$  кг.

При сгорании топлива параллельно идут два процесса:



Часть углекислого газа вступает во вторичную реакцию с раскаленными углями:



Масса углерода, участвующего в реакции (1.6), равна

$$m_2 = m_1 \times \psi_1 \quad (1.9)$$

или  $m_2 = 9,6 \times 0,1 = 0,96$  кг.

Масса углерода, участвующего в реакции (1.7), равна

$$m_3 = m_1 \times \psi_2 \quad (1.10)$$

или  $m_3 = 9,6 \times 0,15 = 1,44$  кг.

Общая масса углерода, образующего CO, равна

$$m_4 = m_2 + m_3 \quad (1.11)$$

или  $m_4 = 0,96 + 1,44 = 2,4$  кг.

Для простоты будем считать, что весь процесс образования угарного газа идет по реакции (1.7). Исходя из соотношения масс, участвующих в химической реакции (см. пояснения к решению задания 1.1), находим массу образовавшегося угарного газа.

$$m_{\text{CO}} = \frac{m_{\text{C}} \times M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}}} \quad (1.12)$$

или  $m_{\text{CO}} = \frac{2,4 \times 28}{12} = 5,6$  кг

(молекулярную массу CO находим как сумму атомных масс углерода и кислорода; коэффициенты перед CO и C в уравнении (1.7) взаимно уничтожаются).

Объем, который займет это количество угарного газа при нормальных условиях, составляет:

$$V_{\text{CO}} = \frac{5,6 \text{ кг}}{0,028 \text{ кг}} \times 22,4 \text{ л} = 4480 \text{ л}$$

или  $4,480 \text{ м}^3$ .

(0,028 кг – масса одного моля CO; 22,4 л – объем, занимаемый одним молем газа при нормальных условиях – см. пояснения к решению задания 1.1).

По уравнению объединенного газового закона найдем истинный объем угарного газа при  $T=313\text{K}$ :

$$V_{ист} = \frac{P_0 V_0 T_1}{P_1 T_0}, \quad (1.13)$$

где  $V_0 = V_{CO} = 4,480 \text{ м}^3$ ;  $T_0 = 273\text{K}$ ;  $P_0 = 760 \text{ мм.рт.ст.}$ .

$$V_{ист} = \frac{760 \text{ мм.рт.ст.} \times 4,480 \text{ м}^3 \times 313\text{K}}{780 \text{ мм.рт.ст.} \times 273\text{K}} \approx 5,0 \text{ м}^3.$$

Площадь помещения равна  $S = l \times n = 4 \times 2 = 8 \text{ м}^2$ . Определим высоту зоны, заполненной угарным газом:

$$h_x = \frac{V_{\text{ист}}}{S} = \frac{5,0 \text{ м}^3}{8 \text{ м}^2} = 0,625 \text{ м}.$$

Следовательно, угарный газ заполнит помещение выше уровня  $(h - h_x)$  или  $3 \text{ м} - 0,625 \text{ м} = 2,375 \text{ м}$ .

Ответ: зона, заполненная угарным газом, находится выше уровня  $2,375 \text{ м}$ .

### Варианты для выполнения задания

Таблица 2

№№	$m, \text{ кг}$	$T_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$P_1, \text{ мм.рт.ст.}$	$K$	$\psi_1$	$\psi_2$	$l, \text{ м}$	$n, \text{ м}$	$h, \text{ м}$
1	15	42	780	0,75	0,1	0,15	2	4	2
2	25	46	784	0,83	0,18	0,17	2,5	5	3,7
3	17	50	786	0,82	0,19	0,18	8	3	2,75
4	24	54	785	0,76	0,17	0,19	3	6	2,7
5	19	40	788	0,79	0,2	0,14	3	3	3
6	31	58	787	0,77	0,3	0,12	2	4	2
7	26	52	783	0,78	0,21	0,13	2,5	5	3,7
8	10	48	782	0,84	0,16	0,11	8	3	2,75
9	21	44	789	0,85	0,14	0,1	3	6	2,7
10	37	56	781	0,8	0,15	0,2	3	3	3