

7. Чтобы выпечь торт, девятиклассник Лёша взял круглую форму диаметром 16 см и вылил туда приготовленное тесто, высота которого составила 4.0 см. В тесто Лёша положил 0.50 мас. % разрыхлителя – $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Затем он поставил форму в предварительно разогретую духовку. Он нашёл, что плотность теста равна 497 кг/м^3 , его удельная теплоёмкость $2.0 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$, а духовка, работающая от стандартной электросети, имеет сопротивление 0.41 кОм . Температура воздуха на кухне была 20°C .

- 1) Напишите уравнение реакции разложения $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Почему это вещество используют в качестве разрыхлителя? Какие ещё вещества могут выступать в качестве разрыхлителей?
- 2) Помогите Лёше найти время, за которое разрыхлитель полностью разложится после того, как тесто в форме поставят в духовку. Учтите, что сначала тесто нагревается до необходимой температуры, а разложение разрыхлителя происходит при температуре 60°C .
- 3) Рассчитайте, на какую высоту поднимется тесто при 110°C , если 75 % газообразных продуктов улетучивается во время приготовления.

Примечание. Теплообменом с формой и окружающей средой можно пренебречь. КПД нагревательного элемента 100 %. Примите, что энтальпии образования не зависят от температуры. Количество теплоты, выделяемое электронагревателем к моменту времени τ (с), можно рассчитать как $Q = I U \tau$, где I — сила тока (А), U — напряжение (В). Объём цилиндра равен $V = \pi r^2 h$, где r — радиус основания цилиндра, h — его высота.

Справочная информация. Стандартные энтальпии образования в кДж/моль: $\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ -241.8, $\text{CO}_{2(\text{г})}$ -393.5, $\text{NH}_{3(\text{г})}$ -45.9, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_{3(\text{тв})}$ -942.1. Стандартная энтальпия испарения воды 44.0 кДж/моль .

№7

1. Уравнение разложения $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} \uparrow$. Данное вещество используют в качестве разрыхлителя, т.к. все выделяющиеся вещества — газообразные.

2. Рассчитаем количество карбоната аммония. Исходя из геометрических параметров формы, рассчитаем объём теста $V_{\text{теста}} = S_{\text{формы}} h_{\text{теста}} = \pi r^2 h = 3.1416 \cdot (8.0 \text{ см})^2 \cdot 4.0 \text{ см} = 804.2 \text{ см}^3$. Тогда, используя плотность теста рассчитаем массу: $m_{\text{теста}} = \rho_{\text{теста}} V_{\text{теста}} = 0.497 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3} \cdot 804.2 \text{ см}^3 = 399.7 \text{ г}$. При этом $m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 0.0050 \cdot 399.7 \text{ г} = 2.0 \text{ г}$, тогда $n((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = \frac{2.0 \text{ г}}{96.06 \text{ г}\cdot\text{моль}^{-1}} = \mathbf{0.0208 \text{ моль}}$.

3. Запишем термохимическое уравнение разложения (вода находится в жидком состоянии, т.к. в условии указано, что реакция идёт при температуре 60°C): $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_{3(\text{тв})} = 2\text{NH}_{3(\text{г})} + \text{CO}_{2(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$. Тогда энтальпия этой реакции равна

$$\Delta H_r = 2\Delta_f H^0(\text{NH}_{3(\text{г})}) + \Delta_f H^0(\text{CO}_{2(\text{г})}) + \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - \Delta_f H^0((\text{NH}_4)_2\text{CO}_{3(\text{тв})}).$$

Необходимо найти $\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})})$, рассмотрим реакцию $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$, её энтальпия равна энтальпии испарения воды: $\Delta H_{\text{исп}} = \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) - \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})})$, тогда $\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) - \Delta H_{\text{исп}}$. Подставив значения, получим $\Delta H_r(1 \text{ моль}) = 2 \cdot (-45.9) - 393.5 - 241.8 - 44.0 + 942.1 = 171.0 \text{ кДж}$. Тогда на 0.0208 моль приходится $\Delta H_r = n((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) \cdot \Delta H_r(1 \text{ моль}) = 3.557 \text{ кДж}$.

4. Рассчитаем время, которое необходимо для проведения реакции, по закону Джоуля — Ленца: $\tau = \frac{Q}{IU}$. По закону Ома $I = \frac{U}{R}$, тогда $\tau = \frac{QR}{U^2}$, при этом напряжение равно стандартному напряжению сети — 220 В . Определим количество теплоты: оно складывается из теплоты, пошедшей на нагрев теста от 20°C до 60°C и на проведение химической реакции при 60°C ,

т.е. $Q = Q_{\text{нагрев}} + Q_{\text{реакция}} = cm\Delta T + \Delta H_r = \frac{2.0 \text{ кДж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 0.3997 \text{ кг} \cdot 40^\circ\text{C} + 3.557 \text{ кДж} = 35.533 \text{ кДж}$. Тогда $\tau = \frac{QR}{U^2} = \frac{35.533 \text{ Дж} \cdot 410 \text{ Ом}}{(220 \text{ В})^2} = 301 \text{ с} \approx \mathbf{5 \text{ мин}}$.

5. Для того, чтобы рассчитать на какую высоту поднимется тесто, рассчитаем объём выделившихся газов: $V_{\text{газ}} = [n(\text{NH}_3) + n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O})]V_m = 4n((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)V_m$. Т.к. разложение проходит при 110 °С рассчитаем молярный объём по закону Гей-Люссака: $\frac{V_m(T_1)}{T_1} = \frac{V_m(T_2)}{T_2}$, тогда $V_m(383.15) = \frac{T_1}{T_2}V_m(273.15) = \frac{383.15 \text{ K}}{273.15 \text{ K}} \cdot 22.4 \text{ л/моль} = 31.4 \text{ л/моль}$. $V_{\text{газ}} = 4 \cdot 0.0208 \text{ моль} \cdot 31.4 \text{ л/моль} = 2.61 \text{ л}$. Рассчитаем высоту поднятия теста с учётом того, что 75 % газов улетучивается: $h = 0.25 \frac{V}{S} = 0.25 \frac{2610 \text{ см}^3}{3.1416 \cdot (8.0 \text{ см})^2} = 3.2 \text{ см}$.

6. В качестве разрыхлителей можно использовать также **гидрокарбонат натрия**, т.к. при разложении выделяется углекислый газ: $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} \uparrow$.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Записано уравнение разложения $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и дано объяснение его использования в качестве разрыхлителя – 1 балл. | 1 балл |
| 2. Рассчитано количество карбоната аммония – 1 балл. | 1 балл |
| 3. Рассчитано количество теплоты, выделившееся в результате разложения карбоната аммония – 1 балл. | 1 балл |
| 4. Записано количество теплоты, затраченное на нагрев теста – 1 балл. | 1 балл |
| 5. Найдено время, затраченное на разложение карбоната аммония – 3 балла. | 3 балла |
| 6. Рассчитана высота, на которую поднимется тесто – 2 балла. | 2 балла |
| 7. Предложен альтернативный разрыхлитель – 1 балл. | 1 балл |

ИТОГО:

10 баллов