

УДК 51

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ БЕНЗОЛА ПРИ ХРАНЕНИИ

Прейс Е. В., к.т.н., доцент
Емельяненко К.Е., студент гр. ОПс-221, II курс
Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово

Кузбасс – край химической промышленности. На сегодняшний день в Кузбассе работают такие химические гиганты, как «ПАО Кокс», «КАО Азот». Задачи, которые возникают в процессе производства, хранения и применения продукции, всегда интересны и актуальны. Экологическая обстановка в городах Кемеровской области достаточно напряженная. Местные власти предпринимают различные меры по ограничению выбросов, но эта задача актуальна до сих пор.

Рассмотрим такой элемент, как бензол, который является важным сырьем для производства многих химических соединений. Бензол (C_6H_6) – бесцветная летучая жидкость с характерным запахом, имеет высокую степень инертности, хорошо растворяется в органических растворителях, является важным сырьем для производства химических соединений, таких как пластмассы, красители, пестициды, лекарственные препараты.

Таким образом, этот углеводород достаточно токсичен и канцерогенен. Попадание его в больших количествах в производственные помещения опасно для человека. Хранение и транспортировка бензола производится в герметичных резервуарах. Но при его синтезе часть вредных паров попадает в производственные помещения. Важно уметь сделать оценку по потерям бензола и, соответственно, ограничить вредные выбросы.

Пусть резервуар, в котором хранится бензол, имеет цилиндрическую форму. Величина парового пространства над бензолом имеет объём $V_0 = 300\text{ м}^3$. Обычно это пространство сообщается с внешней средой через трубу. Пусть суточные температуры летом в Кузбассе варьируются от 9° до 25° . Давление в среднем около 760 мм.рт.ст. Сделаем оценку возможных потерь бензола за сутки под действием изменения суточных температур. Парциальное давление (давление одного отдельно взятого компонента газовой смеси, если бы этот газ занимал весь объём) найдем по формуле:

$$\lg P = 7,962 - \frac{1,781}{T} (1),$$

где P – давление в мм рт. ст., T – температура по Кельвину.

Потеря бензола происходит тогда, когда его пары над поверхностью вещества под действием тепла из окружающего пространства расширяются и выбрасываются в атмосферу. При понижении температуры воздух засасывается через трубу и, насыщаясь бензолом при следующем повышении температуры, опять вытесняется в пространство. Выделим два процесса, при которых происходит потеря бензола, причем эти процессы происходят одновременно. Первый процесс состоит в расширении под действием температур объема паровоздушной смеси. Изменение объема можно описать дифференциальным уравнением

$$dV_T = V_0 \cdot \frac{dT}{T} \quad (2).$$

Второй процесс — это увеличение концентрации содержания бензола в паровоздушной смеси под действием температуры, определяемое по формуле (1). Пусть x — мольная доля бензола в паровоздушном пространстве. Тогда объем бензола в отношении к общему давлению составит $x \cdot V_0$. Количество испарившегося бензола dV_x с изменением состава паровоздушной массы, с увеличением давления пара и повышением температуры будет равно:

$$dV_x = d(xV_0) = V_0 dx.$$

Тогда общее количество испарившегося бензола с паровоздушной смесью будет складываться из двух описанных процессов:

$$dV = dV_T + dV_x = V_0 \left(\frac{dT}{T} + dx \right) \quad (3).$$

Мольная доля бензола $x = \frac{P}{760}$, где P — парциальное давление бензола при температуре T . Тогда

$$dx = \frac{dP}{760} \quad (4).$$

Установим количество бензола, которое теряется из объема dV . Для этого воспользуемся основными газовыми законами химии, в частности уравнением Клайперона-Менделеева для идеального газа:

$$dM = \frac{P \cdot dV}{RT},$$

где dM — количество кило молей бензола, которое теряется с объемом $dV \text{ м}^3$ воздуха, содержащего пары бензола. Постоянная $R = 850 \text{ кГ} \cdot \frac{\text{м}}{\text{кмоль}} \cdot \text{град}$, тогда

$$dM = \frac{1}{R} \cdot \frac{P}{T} dV \approx 0,0012 \cdot \frac{P}{T} dV.$$

Подставим в это уравнение dV из уравнения (3), значение dx из (4) и значение $V_0 = 300 \text{ м}^3$, получим:

$$dM = 0,0012 \cdot \frac{P}{T} \cdot V_0 \left(\frac{dT}{T} + dx \right) = 0,36 \cdot \frac{P}{T} \left(\frac{dT}{T} + \frac{dP}{760} \right) \quad (5).$$

Чтобы вычислить массу потерянного бензола, проинтегрируем уравнение (5). Первое слагаемое удобнее интегрировать по переменной T , от $T_1 = 9^\circ + 273,15^\circ$ до $T_2 = 25^\circ + 273,15^\circ$. Второе слагаемое удобнее интегрировать по переменной P . Причем, P_1 соответствует температуре T_1 , которые связаны уравнением (1), и P_2 соответствует температуре T_2 .

$$P = e^{2,3026(7,962 - \frac{1,781}{T})} ; \quad \frac{1}{T} = \frac{18,3333 - \ln P}{4,1009}$$

Подставляем в уравнение (5) и интегрируем

$$\begin{aligned} M &= 0,36 \int_{T_1}^{T_2} \frac{e^{2,3026(7,962 - \frac{1,781}{T})}}{T^2} dT + 0,36 \int_{P_1}^{P_2} \frac{P(18,3333 - \ln P)}{760 \cdot 4,1009} dP = \\ &= \frac{0,36}{1,781} \left(e^{3,2036(\frac{7}{962} - \frac{1,781}{T})} \right) \Big|_{T_1}^{T_2} + \frac{0,36}{760 \cdot 4,1009} \left(\frac{P^2}{2} \cdot 18,3333 - P^2 \left(\frac{\ln P}{2} - \frac{1}{4} \right) \right) \Big|_{P_1}^{P_2} = \\ &= 0,02141 \text{ кмоль}. \end{aligned}$$

Молекулярная масса бензола равна 78, следовательно, общее количество потерянного бензола за сутки составляет

$$0,02141 \cdot \frac{78 \text{ г}}{\text{моль}} = 21,41 \text{ моль} \cdot \frac{0,078 \text{ кг}}{\text{моль}} \cong 1,67 \text{ кг}.$$

Таким образом, проследив за процессами, при которых происходит потеря бензола, как ценного сырья, и выбросы его в окружающую среду, можно выработать мероприятия по снижению этих потерь.