РАЗДЕЛ XXXIII. ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**Хромцова Е.В.¹, Чекмарева Е.Б.², Чекмарева Л.И.¹****Исследовательский подход при изучении пожароопасных свойств редокс-процессов**¹*ФГБОУ ВО Тихоокеанский государственный университет*²*КГБ ПОУ «Хабаровский машиностроительный техникум»**(Россия, Хабаровск)**doi: 10.18411/lj-06-2021-328***Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы модельных экспериментальных исследований процессов, горения, тушения и профилактики возгораний для учащихся 7-11 классов общеобразовательных школ и колледжей в контексте изучения темы «Окислительно-восстановительные процессы».

Ключевые слова: окислительно-восстановительные процессы, экспериментальные горения, тушение и профилактика возгораний, реализация проекта для школьников, тренинг.

Abstract

The article discusses the variants of model experimental studies of processes, combustion, extinguishing and prevention of fires for schoolchildren in grades 7-11 of general education schools and colleges in the context of studying the topic "Oxidation-reduction processes".

Key words: oxidation - reduction processes, experimental combustion, extinguishing and prevention of fires, project implementation for schoolchildren, training.

При изучении темы «Окислительно-восстановительные реакции» в курсах химии основное внимание, как правило, уделяется способам составления уравнений химических реакций и подбора коэффициентов для участников этой реакции [1, 2]. Иллюстрацией существования таких реакций служат демонстрационные эксперименты или специально подобранные безопасные опыты в лабораторных работах [2 – 5]. Что касается огромного значения редокс-процессов, в особенности их мощной разрушительной силы, если об этом и упоминается, то, вероятнее всего, в контексте инструктажа по технике безопасности. А ведь окислительно-восстановительные реакции лежат в основе такой глобальной проблемы человечества, как пожары, взрывы и многие техногенные катастрофы. Для борьбы с ними необходимо понимать механизмы воспламенения и горения, чтобы предотвращать те же пожары и успешно бороться с возгораниями.

Тема пожарной безопасности является актуальной не только для специалистов пожарного дела, но и для любого члена общества. Навыки пожаробезопасного поведения прививаются, что называется, «с младых ногтей»: детского сада, семьи, школы, колледжа, вуза. Знание пожаробезопасного поведения в среде жизнедеятельности обеспечивается обычно устными, письменными, графическими запретами и подкрепляется правовой ответственностью [6, 7]. Последствия безответственного отношения к пожарной безопасности демонстрируются видеороликами, презентациями, кинофильмами, т.е. воздействие на обучаемого осуществляется через визуальный и слуховой каналы, но, к сожалению, не закрепляется чувственными ощущениями. Поэтому внушаемые знания о пожарной безопасности

зачастую не воспринимаются как руководство к деятельности лично для вас, ибо вы являетесь не участником, а сторонним наблюдателем и, возможно, думаете, что это происходит с другими и к вам отношения не имеет. За примерами далеко ходить не надо: вспомните свое детство. Сколько бы не говорили ребенку родители, что нельзя трогать огонь или горячие предметы потому, что можно обжечься, он не воспринимает этот запрет как руководство к действию. В данном случае теоретическая информация для него предмет не прочувствованный, не закрепленный в его сознании личным опытом и это не есть знание в полном смысле этого слова.

Однако, приобретение личного опыта в таком деле, как пожароопасность, может иметь трагические последствия и, естественно, такой опыт неприемлем. Нужна безопасная «прививка», которая позволит получить необходимый личный опыт без ущерба для здоровья и жизни. Такой подход особенно актуален для подростков, учащихся средних школ, колледжей и вузов.

На кафедре химии Тихоокеанского государственного университета (г. Хабаровск) был реализован проект «Воскресная школа химических знаний» для учащихся 7-11 классов средних школ города [8], в основу которого была заложена идея развивающего образования, приближенного к практике нашей жизни и современным технологиям, а также экологическим проблемам окружающей среды. Проект реализовывал задачу воспитания творческого подхода к разрешению различных ситуаций, стремление проникать в сущность явлений и процессов, наиболее влияющих на нашу жизнь.

Одно из проводимых занятий было посвящено теме пожаров: их возникновению, проявлениям, последствиям и профилактике. При разработке методик проведения опытов широко использовались приемы моделирования ситуаций и объектов возгорания [9, 10]. Для фиксирования наблюдений активно использовалась фото- и видеосъемка. Участие в работе принимали ребята от 7 до 11 классов, рабочие группы состояли из 3-х человек, включая старше- и младшеклассников. Моделями объектов возгорания служили наиболее часто встречающиеся в нашей жизни вещи.

Особое, можно сказать демонстративное, внимание было уделено организации в вытяжных шкафах рабочих мест. Опыты были подобраны таким образом, чтобы продемонстрировать характер возгорания, горения и вид продуктов сгорания наиболее часто встречающихся бытовых горючих материалов. Участники проекта были снабжены средствами личной защиты (очками, перчатками, халатами, прорезиненными фартуками); дистанционирующими принадлежностями (пинцетами, тигельными и муфельными щипцами); средствами тушения возгорания (песок, вода, асбестовые одеяла); средствами локализации возгораний (железные подносы, керамическая плитка, стекловолоконные одеяла). Для экспериментов использовались минимальные количества веществ. Перед работой проводился инструктаж по технике безопасности с обоснованиями предназначения и необходимости использования каждого средства защиты [6, 7, 11]. Далее авторы приводят примеры проводимых исследований.

Так, в опыте 1 предлагалось изучить характер возгорания и горения органических растворителей, широко используемых при строительных работах (этанола, пропанола, бутанола, гексана, толуола, ксилола). Для организации сравнительного характера наблюдений поджог этих растворителей осуществлялся одновременно: на поверхность облицовочной керамической плитки с помощью пипетки наносили дорожки перечисленных растворителей, обозначив их предварительно соответствующими номерами, и поджигали спичкой. Отмечали характер горения: свечение пламени, скорость горения, количество копоти (элементарного углерода), полноту сгорания, сажный след на пластинке. С целью прогнозирования характера горения других растворителей предлагалось проанализировать влияние содержания атомов углерода, строения углеродной цепи, присутствия атомов кислорода на характер горения. Для иллюстрации химизма

процесса горения предлагалось записать уравнения реакций горения исследуемых веществ. Для количества сажи (углеродная копоть) коэффициенты в уравнениях подбирались произвольно, согласно личным впечатлениям, но так, чтобы отражали соотношения выделяемой копоти исследуемого ряда растворителей. Участники отмечали окислительные свойства кислорода и его присутствие во всех уравнениях.

Второй опыт был посвящен изучению характера возгорания и горения твердых горючих органических материалов (упаковочных, изоляционных, тканевых, пластмасс, а также различных бумаг (фильтровальной, газетной с текстом, белой мелованной, декоративной гофрированной) при воздействии на них пламени свечи и нагрева от поверхности закрытой электроплитки. Ученики фиксировали временные периоды от начала температурного воздействия до момента возгорания и отмечали влияние на этот параметр присутствующих в бумаге наполнителей (мел, каолин, типографская краска). Так же отмечали полноту и вид продуктов сгорания, которые хорошо были видны на белой кафельной плитке. Ученикам интересно было узнать, что продукты сгорания газетной бумаги с текстом обладают бактерицидными свойствами, т.к. содержат соединения тяжелых цветных металлов (свинца, ртути, висмута) и применяются в быту для лечения наружного герпеса. Воспламенение же при термическом воздействии в отсутствие открытого огня объясняет возгорание и горение свалок бытовых отходов. Своеобразно горит одноразовая посуда: в большей степени она плавится, разбрызгивая жидкий расплав вокруг очага горения. Таким образом, понимание как горят различные бытовые отходы связано с охраной окружающей среды, поведением туристов и дачников, безопасностью деятельности мусоросжигающих заводов, обосновывает необходимость раздельного сбора мусора и все это обуславливает практические мотивы пожаробезопасного поведения человека в среде обитания.

Опыт третий иллюстрирует необходимость знания правил хранения различных веществ с учетом их пожарной совместимости, что немаловажно при размещении грузов на складах, в трюмах судов, автофургонах, железнодорожных вагонах, багажных отделениях самолетов. В качестве моделей ненадлежащих условий хранения и пожарной несовместимости веществ были использованы: наблюдение вспышки медицинского эфира в результате быстрого нагрева стенок тигля в отсутствие открытого огня; взрыв небольшого количества аммонийной селитры (удобрение на складе) так же при нагреве в тигле в отсутствие открытого огня; вспышка при контакте с кристаллическим перманганатом калия глицерина (вещества аптечных складов); алюминиевого порошка (краска серебрянка) с иодом при попадании на смесь капли воды. После проведения опытов ученикам предлагалось написать уравнения реакций, отметить их окислительно-восстановительный механизм. Для доказательства экзотермичности реакций и их ответственности за возгорания ученикам старших классов предлагалось рассчитать теоретический тепловой эффект, используя стандартные энтальпии образования реагентов [12].

Опыт четвертый объясняет, почему горят провода электропроводки и сгорают самолеты. С этой целью исследовали горение металлов: магниевой стружки при накаливании в пламени свечи; при вдувании в пламя сухого горючего порошков магния, алюминия и цинка. При этом отмечали разницу в поведении металлов в компактном и порошкообразном состояниях. Соответственно иллюстрировали процессы горения уравнениями окислительно-восстановительных реакций и отмечали роль кислорода в процессе.

Щелочные металлы, как правило, в повседневной жизни нам не встречаются, но литиевые источники тока в настоящее время широко распространены. Почему их нельзя выбрасывать в бытовые отходы, а необходимо собирать отдельно? Возгорание щелочных металлов при воздействии влаги учащиеся исследуют на примере реакции натрия с водой. Продуктами взаимодействия являются агрессивная щелочь и значительное количество взрывоопасного водорода. Однако поджигать водород над

кристаллизатором, в котором проводили опыт (в малом пространстве возможен взрыв) опасно, поэтому взрывчатые свойства водорода (характерный лающий хлопок от поднесенной к отверстию пробирки зажженной спички) исследовали отдельно, где водород получали в малом количестве в результате реакции магниевой стружки с разбавленной серной кислотой.

Вторая часть работы была посвящена исследованию эффективности применения различных средств ликвидации возгораний. В качестве очага пожара использовали «колодец» из спичек, трехсторонний и трёхъярусный. На горящий объект действовали: пресной водой из перфорированного тигля, имитируя дождь и пожарные шланги; морской водой (35 граммов хлорида натрия на литр воды); водой с обильной пеной, образованной путем взбивания со стружками хозяйственного мыла; засыпали сверху песком, порошками мела, питьевой соды (поставщик углекислого газа и паров воды), буры (образует легкоплавкие стекла на поверхности горящего материала), сульфата натрия (поглотитель кислорода), ортофосфата натрия. Учащимся предлагалось качественно оценить эффективность тушения горящего объекта используемыми средствами и объяснить механизм воздействия средств на процесс горения, исходя из основных принципов тушения пожаров: снижения температуры в зоне горения; снижения концентрации окислителя (кислорода) в зоне горения; изоляции горючего материала от контакта с открытым огнем в результате процессов стеклования и плавления, которые попутно снижают температуру; комплексного воздействия. Для ребят полезно было ознакомиться с принципом действия углекислотного огнетушителя и разобраться в механизме тушения пожара [11, 13 – 17].

На третьем этапе проекта рассматривались возможности ингибирования процесса горения с целью предотвращения возгораний. Попутно рассматривались и ситуации, активизирующие горение. В качестве горючего материала использовали растертое в порошок сухое горючее. На керамической плитке, помещенной в металлический поднос, были приготовлены смеси насыпным объемом не более 2 – 2,5 см³: сухое горючее + пищевая сода, (поставщик углекислого газа, вытесняющего кислород из зоны горения, и снижающая температуру за счет эндотермичности процесса разложения); сухое горючее + перекись натрия (поставщик кислорода); сухое горючее + бура (образующая легкоплавкие стекла); сухое горючее + ортофосфат натрия (негорючий компонент и возможность образования фосфатных стекол); сухое горючее + песок (негорючий компонент). Для сравнения использовалось чистое сухое горючее. При наблюдении качественно оценивались: время периода до начала возгорания от источника огня, интенсивность горения, период выгорания, вид и количество продуктов сгорания, полнота сгорания. Механизмы протекающих процессов подтверждались уравнениями реакций и обсуждением физической природы воздействия присадок к сухому горючему [11, 13 – 17].

Известно, что для снижения риска возгорания часто используют пропитку потенциально пожароопасных объектов: тканей, древесины и др. В четвертой части проекта ребята исследовали эффективность превентивной обработки тканей, древесной щепы и фильтровальной бумаги различными реактивами. Полоски хлопковой ткани, фильтровальной бумаги и спички с удаленными головками пропитывали соответствующими реактивами и высушивали в сушильном шкафу. В качестве ингибиторов использовали растворы ортофосфата натрия, силиката натрия (канцелярский клей), вольфрамата натрия и раствор хозяйственного мыла. Для сравнения использовали чистые материалы, а также пропитанные растворами нитрата аммония и персульфата аммония (активаторы горения, поставщики кислорода, повышающие температуру вследствие экзотермичности реакций разложения). Оценивались периоды до начала возгорания, интенсивность горения, скорость затухания после удаления источника огня, полнота сгорания.

Часто ингибирование процесса горения является необходимым условием его протекания, например, при получении расплава серы для моделирования образования сульфидов тяжелых цветных металлов в недрах Земли. Только добавление в смесь серы с металлом порошка сульфита натрия (поглотителя кислорода) предотвращает воспламенение серы при нагревании смеси.

В завершение экспериментальной части проекта ребятам предлагается рассмотреть ряд ситуативных заданий. Этот тренинг помогает включить полученный новый опыт в арсенал практических навыков и соответственно скорректировать пожаробезопасную модель поведения в окружающей среде.

Тренинг

Оцените пожароопасность ситуации, укажите возможные причины возгорания, предскажите характер горения, предложите варианты предупреждения возгорания и средства тушения пожара. Запишите уравнения химических реакций, инициирующих возгорание.

Пример 1. В деревянном шкафу со стеклянными дверцами под прямыми солнечными лучами находятся: негерметичная склянка с диэтиловым эфиром рядом с бумажным пакетом с нитратом аммония и пачкой бумажных фильтров.

Решение:

Оцениваем пожароопасность ситуации:

- наличие источника теплоты – прямых солнечных лучей;
- наличие окислителей: кислорода воздуха и аммонийной селитры (NH_4NO_3 , $T_{\text{разл}} = 210^\circ\text{C}$, при быстром нагреве взрывается);
- наличие горючих веществ – диэтилового эфира ($\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$, $T_{\text{кип}} = 35,6^\circ\text{C}$;
- нарушение условий хранения: нахождение в шкафу – закрытом небольшом пространстве;
- негерметичность склянки с эфиром, его свободное испарение и накопление в замкнутом пространстве;
- прямые солнечные лучи;
- соседство горючих, летучих и взрывоопасных веществ.

Определяем процессы, инициирующие возгорание:

- испарение диэтилового эфира и возможная его вспышка смеси паров с воздухом, содержащим кислород $\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O} + 6\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$;
- под действием теплоты, выделившейся в результате вспышки эфира, возможен взрыв аммонийной селитры $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 2\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$;
- выделившийся кислород инициирует возгорание и поддерживает горение бумажных фильтров (целлюлозы) $(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O})_n + \text{O}_2 = x\text{CO}_2 + \dots$

Характер возгорания: огневая вспышка, взрыв; активное горение эфира из разрушенной склянки; возгорание и горение бумаги; в результате взрыва возможно разрушение стекол шкафа, возгорание деревянного шкафа; разлетевшиеся стеклянные осколки могут нанести травмы.

Тушение: с помощью углекислотного огнетушителя.

Меры по предотвращению возгорания: герметизация склянки с эфиром, хранение его в темном месте вдали от источников тепла, отдельно от окислителей и горючих материалов.

ВЫВОД: причина возгорания – нарушение условий хранения реактивов и материалов.

Авторы надеются, что данный материал будет востребован учителями специализированных и средних школ, преподавателями колледжей и вузов для специальностей, связанных с охраной окружающей среды, энергетическим комплексом, пожарным делом, грузоперевозками и др. Преимущество проекта авторы видят в том, что он открыт для дальнейших исследований, не требует дорогих

специальных реактивов, посуды и оборудования, доступен для любого химического кабинета, любой возрастной категории учащихся.

1. Окислительно-восстановительные реакции в неорганической и органической химии. Методическое пособие / Сост. Дитятева О. А. – Сыктывкар, 2017. – 27 с.
2. Асанова Л. И., Стрельникова Е. Н. Окислительно-восстановительные реакции. Практикум по химии. 8-11 классы. М.: ВАКО, 2019. – 112 с.
3. Некрасов В. В. Руководство к малому практикуму по органической химии. Изд. 5-е доп. – М.: Химия, 1975 – 328 с.
4. Алимарин И. П., Фадеева В. И., Дорохова Е. Н. Демонстрационный эксперимент по общему курсу аналитической химии. – М.: Химия, 1974 – 288 с.
5. Иванова М. А., Кононова М. А. Химический демонстрационный эксперимент: Учебное пособие для хим. спец. вузов / Под ред. С. А. Щукарева, – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1984. – 208 с.
6. Основы пожарной безопасности. Учебное пособие в 2-х частях. Часть I / Ве-тошкин А. Г. – Изд-во ИНФРА – ИНЖЕНЕРИЯ, 2020. – 448 с.
7. Основы пожарной безопасности. Учебное пособие в 2-х частях. Часть II / Ве-тошкин А. Г. – Изд-во ИНФРА – ИНЖЕНЕРИЯ, 2020. – 312 с.
8. Чекмарева Л. И., Панасюк Т. Б., Яргаева В. А., Хромцова Е. В., Янковец Ж. Н., Мара Н. Л., Незаментимова Л. Е.. Воскресная школа химических знаний ТОГУ – научно – образовательный социально – значимый проект./ Проблемы высшего образования : материалы междунар. науч. – метод. конф.(Хабаровск, 10 – 12 апреля 2013 г.) /под ред. Т. В. Гомза. – Хабаровск : Изд – во Тихоокеан. гос. ун – та, , 2013. – с. 219 – 223.
9. Стенберг В.Н. Теория и практика «метода проектов» в педагогике XX века: Дис. канд. пед. наук. – Владимир, 2002. – 194 с.
10. Чекмарева Л. И., Хромцова Е. В. Моделирование в химии : актуальные аспекты. / Проблемы высшего образования : материалы междунар. науч. – метод. конф.(Хабаровск, 10 – 12 апреля 2013 г.) /под ред. Т. В. Гомза. – Хабаровск : Изд – во Тихоокеан. Гос. ун – та, , 2013. – с. 223 – 225.
11. Авилов В. Б. Охрана труда. Учебное пособие. – Владивосток: Изд-во Дальне-вост. Гос. ун-та, 1986. – С. 88 – 99.
12. Рабинович В. А., Хавин З. Я. Краткий химический справочник. Изд. 2-е испр. и доп. – Ленинград.: Химия, 1978. – 392 с.
13. Бобков С. А. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : учеб. пособие / С. А. Бобков, А. В. Бабурин, П. В. Комраков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 210 с.
14. Адамян В. Л. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учебное пособие/ В. Л. Адамян. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 176 с. – ISBN 976-5-8114-3207-3. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/107279> (дата обращения: 19.05.2021).
15. Физико-химические основы развития и тушения пожара [Электронный ресурс] : [учебное пособие для студ. всех форм обуч., обучающихся по напр. подготовки бакалавра 280700 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность», спец. 280705] / О. Ю. Исаева, С. В. Пестриков, Ф. Ф. Султанов, В. П. Перминов ; ФГБОУ ВПО УГАТУ. — Учебное электронное издание. — Электронные текстовые данные (1 файл: 988 КБ). — Уфа : УГАТУ, 2014.
16. Краткий справочник по химии / Сост. Горновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. – 3 -е изд. исправ. и перераб. - Киев : Наукова думка, 1965. – С. 612 – 635.
17. Перельман В. И. Краткий справочник химика. Изд. 6-е, перераб. и доп. – М., Гос. научно-техн. изд-во хим. литературы, 1963. – С. 336 – 356.